

MONITOROWANIE STANU NAWIERZCHNI ZMODERNIZOWANEGO TORU KOLEJOWEGO¹

Julian Kominowski

mgr inż., Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, Zakład Pojazdów Szybowych, e-mail: julian.kominowski@doctorate.put.poznan.pl

Bogdan Sowiński

prof. nzw. dr hab., Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, Zakład Podstaw Budowy Urządzeń Transportowych

Streszczenie. Procesy modernizacji oraz rewitalizacji linii kolejowych przyczyniają się do poprawy stanu nawierzchni infrastruktury kolejowej, zwiększenia prędkości, poprawy spokojności jazdy oraz częstotliwości kursowania pociągów. W przeprowadzonych pracach budowlanych ważna jest jakościowa ocena stanu nawierzchni. Jej prawidłowa ocena wpływa na proces diagnostyczny oraz w późniejszym okresie, na wielkość środków finansowych przeznaczonych na utrzymanie. W artykule podjęto się analizy pomiarów pośrednich oraz bezpośrednich nierówności zmodernizowanego odcinka toru kolejowego po oddaniu do eksploatacji. Pomiary bezpośrednie zrealizowano przy użyciu torometrii wózkowych, a pomiary pośrednie wykonano drezyną pomiarową EM120. Badania zrealizowano na wybranym odcinku zmodernizowanego fragmentu linii kolejowej 271 Poznań – Wrocław. Przedstawiono intensyfikację wybranych nierówności toru, a także długości fal ich występowania. Dodatkowo ukazano zmiany geometryczne nawierzchni po przeprowadzonych zabiegach mających na celu wyeliminowanie powstałych usterek. Pomiary nierówności dokonano przy oszacowaniu całkowitego obciążenia nawierzchni.

Słowa kluczowe: infrastruktura kolejowa, diagnostyka, geometria toru kolejowego

1. Wprowadzenie

Szeroki strumień dotacji unijnych oraz państwowych przełożył się na ilość oraz zakres prac modernizacyjnych i rewitalizacyjnych na polskich szlakach kolejowych. Wyraźnym skutkiem prowadzonych inwestycji jest długość odcinków linii kolejowych, na których zostało wprowadzone podniesienie prędkości szlakowych. Od wprowadzonego nowego rozkładu jazdy w 2011 roku, długość odcinków, na których wprowadzono ograniczenia prędkości jest mniejsza od sumarycznej długości odcinków linii kolejowych, na których prędkość została podniesiona [8]. Dzięki

¹ Wkład procentowy poszczególnych autorów: Kominowski J. 60 %, Sowiński B. 40%

inwestycjom PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. ulega poprawie komfort podróży, estetyka elementów infrastruktury, skracany jest czas podróży oraz podnoszone jest bezpieczeństwo prowadzonego ruchu kolejowego. W przeprowadzonych pracach ważna jest jakościowa ocena stanu przeprowadzonych prac. Kluczowym elementem przeprowadzonych procesów modernizacyjnych i rewitalizacyjnych jest stan nawierzchni linii kolejowej. Poprawna ocena stanu geometrii toru kolejowego wpływa nie tylko na proces odbiorczy prac, lecz również przekłada się na późniejsze utrzymanie, a w szczególności na przeznaczone nakłady finansowe.

W Polsce z roku na rok pojawia się coraz więcej linii kolejowych o dopuszczalnej prędkości równej lub większej od 160 km/h. Zgodnie z obowiązującymi w PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. warunkami technicznymi utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych [11], w pomiarach stanu nawierzchni przy odbiorze ostatecznym po naprawie głównej lub modernizacji na liniach o prędkości 160 km/h dozwolony jest pomiar pośredni oraz bezpośredni. Pomiar pośrednie odbywają się przy udziale drezyny pomiarowej EM120, będącej w posiadaniu Centrum Diagnostyki PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., a w pomiarach bezpośrednich najczęściej używany jest toromierz wózkowy. W artykule przedstawiono wyniki analizy wybranych nierówności z przeprowadzonych pomiarów pośrednich oraz bezpośrednich zmodernizowanego odcinka linii kolejowej. Pomiarów zrealizowano od początku przekazania linii do eksploatacji. Pomiedzy badaniami oszacowano przeniesione obciążenie całkowite.

Badanym odcinkiem jest fragment, będącej w fazie modernizacji linii kolejowej nr 271 Wrocław – Poznań. Celem modernizacji infrastruktury nawierzchni torowej wraz z infrastrukturą towarzyszącą wybranego odcinka jest dostosowanie do prędkości 160 km/h w ruchu pasażerskim i prędkości 120 km/h w ruchu towarowym oraz nacisku na oś 221 kN. Zastosowano elementy rozwiązań dla prędkości nawet 200 km/h w części dotyczącej układu geometrycznego torów, przystosowania obiektów inżynierskich do nowych obciążeń dynamicznych i zwiększonych wymogów bezpieczeństwa, przygotowania sieci trakcyjnej w zakresie rozstawu podpór. Prędkość handlowa na wybranym fragmencie od momentu oddania toru do eksploatacji w listopadzie 2013 roku wynosi 100 km/h. Pomiarów bezpośrednie zrealizowano przy użyciu toromierzawózkowego, a pomiary pośrednie drezyną pomiarową EM120. Automatycznie rejestrowanymi wielkościami były szerokość, przechyłka, wichrowatość oraz nierówności pionowe i poziome toru.

Pomiary bezpośrednie wykonano:

- Pomiar 1: październik 2013 roku;
- Pomiar 2: czerwiec 2014 roku;
- Pomiar 3: wrzesień 2014 roku.

Pomiary pośrednie przeprowadzono:

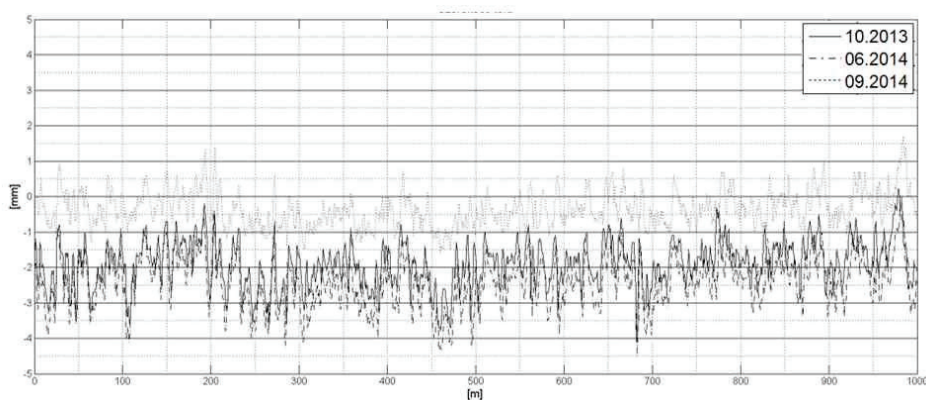
- Pomiar 1: listopad 2013 roku;
- Pomiar 2: maj 2014 roku;
- Pomiar 3: wrzesień 2014 roku.

Krok pomiarowy w metodzie bezpośredniej wynosił 0,5 m oraz 0,25 m w metodzie pośredniej, a wichrowatość toru obliczana była na bazie pomiarowej wynoszącej 5 m.

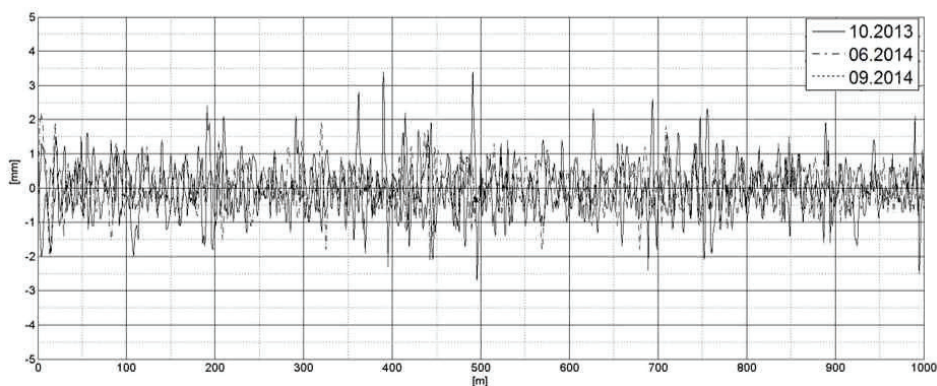
Podczas drugiego pomiaru przeniesione obciążenie całkowite oszacowano na 4,5 mln ton.

2. Wybrane nierówności zmierzone metodą bezpośrednią

Na wstępie analiza przeprowadzonych pomiarów będzie się skupiała na wybranych nierównościach zmierzonych metodą bezpośrednią. Zgodnie z instrukcją [11] odchyłka szerokości dla toru zmodernizowanego do prędkości 160 km/h wynosi 2 mm dla zwężeń i poszerzeń. Dla wichrowatości mierzonej na bazie 5 m odchyłka przyjmuje 5 mm. Analizie poddano pomiary szerokości oraz wichrowatość toru na wybranym fragmencie zmodernizowanego odcinka linii kolejowej 271 (rys. 1 i 2), a także wyniki pomiarów nierówności pionowych (rys. 3).

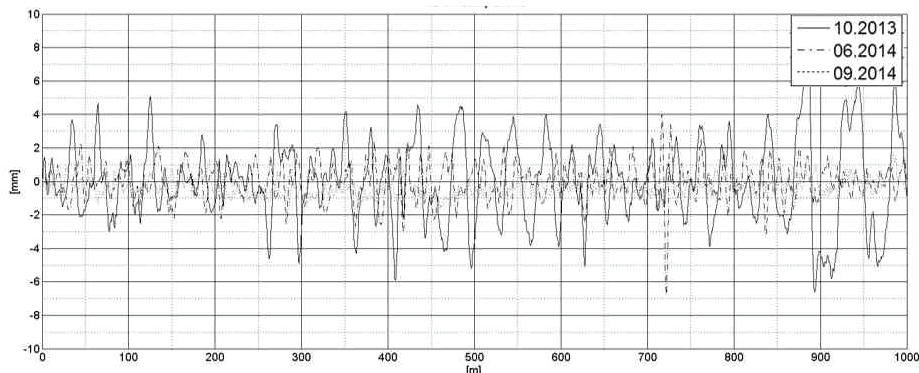


Rys. 1. Szerokość toru na wybranym odcinku zmierzona metodą bezpośrednią



Rys. 2. Wichrowatość toru na wybranym odcinku zmierzona metodą bezpośrednią

Pomiary nr 1 oraz 2 wykazują analogiczną charakterystykę przebiegu oraz wskazują na występowanie miejsc, w których dochodzi do przekroczenia założonych odchyłek. Pomiar trzeci został wykonany po zabiegach regulacji toru i wykazał wyraźną zmianę. Jego analiza wykazała zachowanie wymiaru szerokości toru w założonej tolerancji. Zmierzona wichrowatość w każdym z pomiarów mieści się w granicach dopuszczalnej odchyłki.



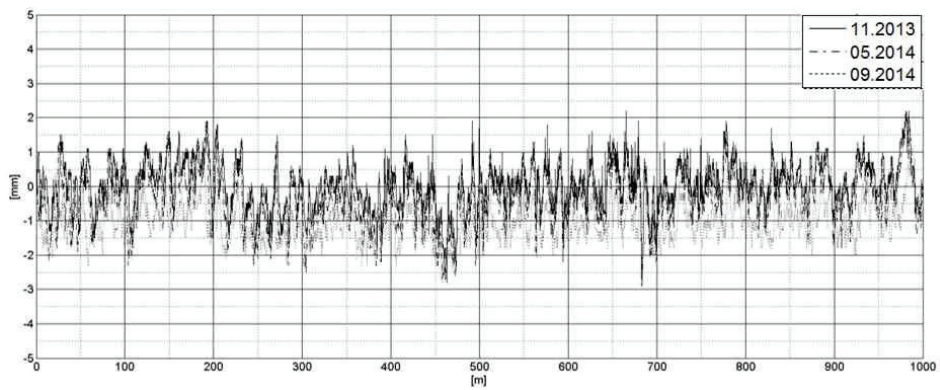
Rys. 3. Nierówności pionowe lewego toru na wybranym odcinku zmierzona metodą bezpośrednią

Odchyłka nierówności pionowych dla linii kolejowej po modernizacji do prędkości 160 km/h wynosi 3 mm [11]. Przeprowadzona analiza wskazuje duże amplitudy nierówności podczas pierwszego pomiaru. Może to być związane ze stanem toru przed oddaniem do eksploatacji, na którym mogły znajdować się powierzchniowe zanieczyszczenia pochodzące z placu budowy, transportu lub procesu produkcji oraz przeniesionym niewielkim obciążeniem dynamicznym. Drugi pomiar również ukazał przekroczenia założonej odchyłki, jednak amplitudy są mniejsze. Charakterystyka pomiaru nr 3 wskazuje na brak przekroczeń przyjętej tolerancji.

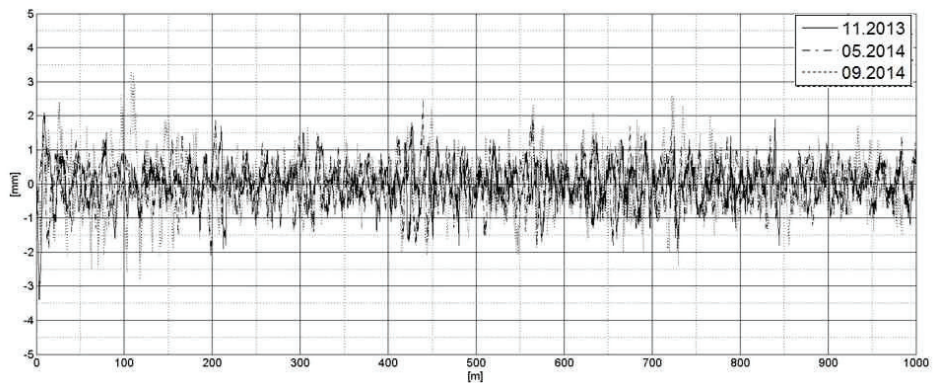
3. Wybrane nierówności zmierzone metodą pośrednią

Kolejne analizy będą skupiały się na przeprowadzonych pomiarach wybranych nierówności metodą pośrednią przy użyciu drezyny pomiarowej EM120. Badania geometrii nawierzchni wykonano na tym samym zmodernizowanym odcinku linii kolejowej 271. Przed każdym z pomiarów system pomiarowy był kalibrowany. Zgodnie z *Warunkami technicznymi utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych* [11] odchyłki dla szerokości, wichrowatości oraz nierówności pionowych przyjmują te same wartości, jak w przypadku pomiarów metodą bezpośrednią.

Poddając analizie wyniki pomiarów szerokości toru pochodzące z trzech badań pośrednich zauważono pomiędzy nimi zbieżność. Odnotowano postępującą zmianę szerokości toru na badanym odcinku. Bazując na [ld-1] odchyłka szerokości wynosi 2 mm, niestety podczas trzeciego pomiaru stwierdzono występowanie wielopunktowych zwiężeń.

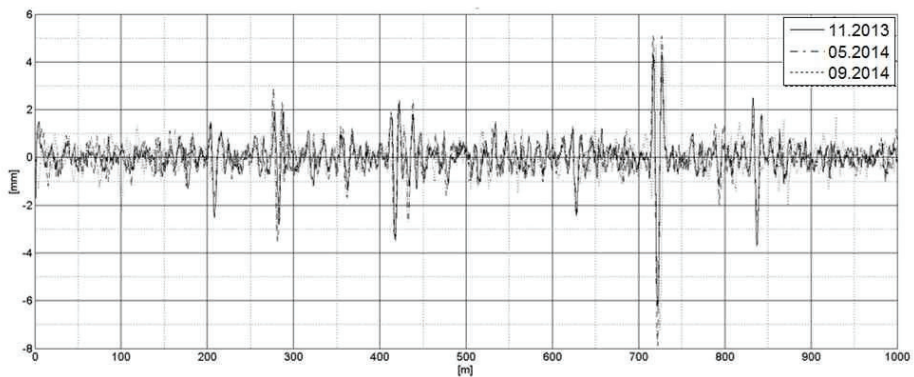


Rys. 4. Szerokość toru na wybranym odcinku zmierzona drezyną pomiarową



Rys. 5. Wychrowatość toru na wybranym odcinku zmierzona metodą pośrednią

Pośrednie pomiary wychrowatości toru wskazują na nieprzekroczenie odchyłek dla przeprowadzonych pomiarów, które wynoszą 5 mm. Po przeprowadzonych procesach naprawczych (09.2014) pomiary wykazały niewielki wzrost amplitud wychrowatości.

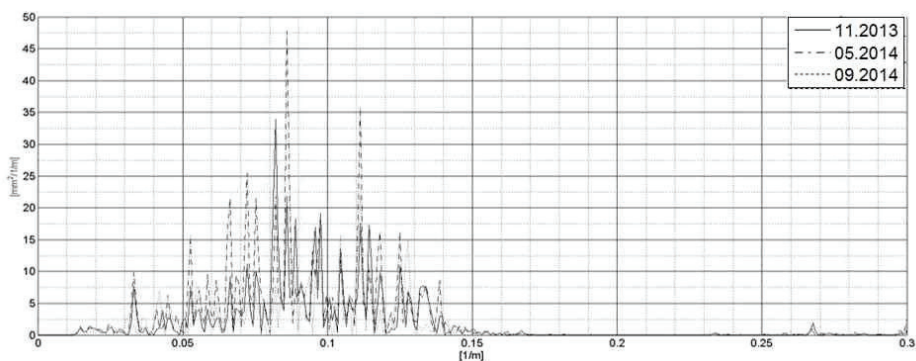


Rys. 6. Nierówności pionowe lewego toku na wybranym odcinku zmierzone metodą pośrednią

W trakcie analizy przeprowadzonych pomiarów nierówności pionowych na wybranym odcinku daje się zauważyć spadek wartości amplitud po przeprowadzonych pracach korygujących. Pomiar stanu toru w listopadzie 2013 r. odbył się na torze świeżo oddanym do eksploatacji. W czasie pomiędzy wykonanymi pomiarami nr 1 i 2, na wybranym odcinku nie dokonywano żadnych prac wpływających na geometrię toru. Odchyłka nierówności pionowych dla zmodernizowanej linii o dopuszczalnej prędkości 160 km/h wynosi 3 mm [11]. We wszystkich pomiarach wyraźnie widać punktowe przekroczenie tej wartości. Warto odnotowania jest fakt, iż pojawiające się piki nierówności pionowych na torze nowym są efektem przyjętej metody pomiaru pośredniego, na którą wpływa dynamiczne oddziaływanie pojazdu z torem w miejscach utraty sztywności podtorza związanej w połączeniami łubkowym przed zgrzaniem szyn. Dostrzeżono także niewielkie przesunięcie charakterystyk pomiarów na tym samym odcinku, prawdopodobnie wynikające z niedokładnego pomiaru drogi przez system pomiarowy.

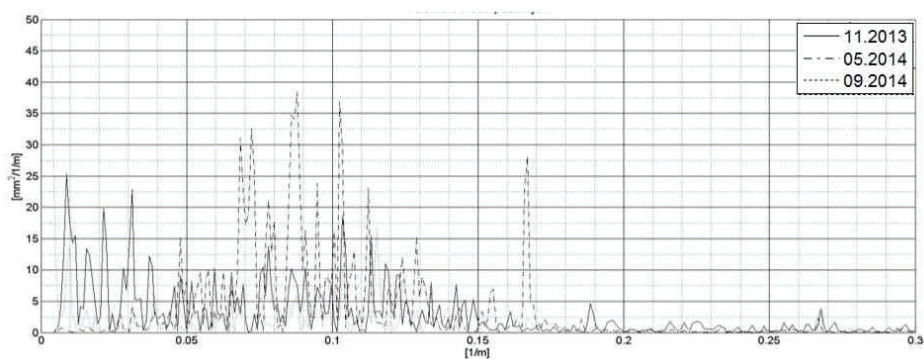
4. Analiza fal nierówności pionowych oraz poziomych

Gęstości widmowe nierówności pionowych na omawianym odcinku potwierdzają wzrost amplitud nierówności pionowych. Analiza wyników przedstawionych na rys. 7 będzie się skupiała na długości fal nierówności pionowych. Zarejestrowane długości fal nierówności pionowych mieszczą się w zakresie od około 7 m do około 50 m. Podczas przeprowadzonych pomiarów badanego odcinka zauważono dominujące dwie fale nierówności pionowej o długościach ok. 9 i 12 m.



Rys. 7. Gęstość widmowa mocy nierówności pionowych zmierzonych metodą pośrednią

W pomiarze nr 3 stwierdzono spadek amplitud nierówności pionowych, co może wskazywać na polepszenie się stanu nawierzchni torowej po przeprowadzonych pracach naprawczych. Gęstości widmowe nierówności poziomych (rys. 8) również świadczą o wzroście amplitud nierówności poziomych. Zapisane długości fal nierówności poziomych mieszczą się w zakresie od około 7 m do około 100 m.



Rys. 8. Gęstość widmowa mocy nierówności poziomych zmierzonych metodą pośrednią

Tabela 1. Energia w paśmie nierówności pionowych oraz poziomych

	<i>Nierówność pionowa</i>	<i>Nierówność pozioma</i>
Pomiar 1	0,75	1,60
Pomiar 2	0,84	2,19
Pomiar 3	0,725	1,40

Tabela 2. Współczynniki korelacji Pearsona gęstości widmowych nierówności pionowych oraz poziomych

	<i>Nierówność pionowa</i>	<i>Nierówność pozioma</i>
Pomiar 1 – 2	0,818	0,988
Pomiar 2 – 3	0,790	0,924
Pomiar 1 – 3	0,740	0,906

W wyniku analizy gęstości widmowej nierówności pionowych i poziomych oraz wartości energii w paśmie w każdym z trzech pomiarów zauważono poprawę jakości stanu nawierzchni. Wartości energii wskazują na sumaryczne zmniejszenie amplitud nierówności w porównaniu do stanu nawierzchni po oddaniu do eksploatacji. Wykazano również, iż długości występujących fal nierówności pionowych pozostały niezmienione. Współczynniki korelacji Pearsona wskazują na wysoką korelację widm nierówności poziomych pomiarów nr 1 i 2. Wartości korelacji pomiędzy wszystkimi pomiarami nierówności poziomych utrzymują się na wysokim poziomie powyżej 0,9, co może świadczyć o niewielkiej zmienności tych nierówności podczas cykli pomiarowych. W przypadku nierówności pionowych wartości współczynników świadczą o dużej zmienności tych nierówności pomiędzy poszczególnymi pomiarami. Można założyć, iż ewolucja nierówności pionowych przebiega szybciej oraz jest bardziej dostrzegalna w stosunku do nierówności poziomych, wpływając na komfort i hałas.

5. Wnioski

Analiza wybranych nierówności zmierzonych drezyną pomiarową EM120 wykazała, iż wchrowatość toru po około 8 miesiącach eksploatacji pozostała na niezmiennym poziomie. W pomiarach bezpośrednich oraz pośrednich przed zabiegami regulacji ukazano postępujące zwężenie toru, a także wzrost amplitud nierówności pionowych, co może być naturalnym wynikiem przeniesionego obciążenia dynamicznego oraz postępującego procesu degradacji toru. W przypadku pomiaru bezpośredniego stwierdzono poszerzenie toru po zabiegach poprawiających jej geometrię oraz zachowanie wymiaru w przyjętych odchyłkach. Podczas analizy pomiaru szerokości metodą pośrednią stwierdzono dalsze postępujące zwężenie. Dodatkowo gęstości widmowe nierówności pionowych oraz poziomych również wykazały wzrost amplitud, potwierdzając postępujący proces ewolucji nierówności toru pomiędzy pomiarami nr 1 i 2. Przedstawione widma oraz wartości energii w paśmie potwierdzają zmniejszenie amplitud nierówności po pracach korygujących, świadcząc o poprawie stanu nawierzchni.

Wyniki bezpośrednich pomiarów nierówności pionowych oraz wchrowatości zaskakująco wskazują na polepszenie się stanu toru od czasu jego otwarcia eksploatacyjnego. Podczas analizy wyników pomiarów wybranych nierówności metodą pośrednią i bezpośrednią zauważono ich analogiczny przebieg. W procesie budowy oraz odbiorów linii kolejowej do parametrów prędkości 160 km/h różnice w granicach 2-3 mm odgrywają duże znaczenie dla założonych odchyłek [1d-1].

Powszechne przekonanie o doskonałej geometrii nowego toru okazało się w analizowanym przypadku nieprawdziwe. Zmierzone fale nierówności pionowych i poziomych wpływają na zmniejszenie komfortu jazdy, zwiększenie hałasu oraz wpływają niekorzystnie na stan techniczny taboru. Analiza gęstości widmowych mocy nierówności pionowych potwierdza hipotezę, iż geometryczne cechy tych nierówności kształtowane są na początku procesu eksploatacji toru zmodernizowanego. Dodatkowo okazuje się, że cechy te są zachowane nawet po przeprowadzeniu procesów zmieniających plan i profil geometryczny nawierzchni linii kolejowej. Wraz z postępowaniem czasu eksploatacji oraz przeniesionego obciążenia długość fal nierówności pozostaje niezmienną, jednak wyraźnie zauważalny jest wzrost ich amplitud.

Literatura

- [1] El-Sibaie M., Zhang, Y-J., Objective track quality indices. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, p.81-87, Washington 2004.
- [2] EN: European Standard EN 13848-1-6: Railway applications – Track – Track geometry quality. European Committee for Standardization (CEN), ISBN: 97-8058-069-07-30, 2008.

- [3] Firlik B., Czechura B., Chudzikiewicz A., Condition Monitoring System for Light Rail Vehicle and Track. *Key Engineering Materials* Vol. 518 (2012), pp 66-75.
- [4] Instrukcja diagnostyki nawierzchni kolejowej Id-8. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2005.
- [5] Instrukcja dla toromistrza Id-9. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Warszawa 2005.
- [6] Instrukcja o dokonywaniu pomiarów, badań i oceny stanu torów Id-14. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2005.
- [7] Lichtenberger B., *Track compendium*, Eurail Press, Hamburg 2011.
- [8] Instrukcja o oględzinach, badaniach technicznych i utrzymaniu rozjazdów Id-4. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2005.
- [9] Massel A., Odwracanie trendu degradacji infrastruktury. *Rynek Kolejowy*, nr 6/2014.
- [10] Sowiński B., Interrelation between wavelengths of track geometry irregularities and rail vehicle dynamic properties. *Archives of Transport*, Tom issue 1-2, Nr vol. 25-26, 2013.
- [11] Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych Id-1. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2005.
- [12] Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego Id-3. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2009.

