

Jakościowa ocena stanu toru po jego regulacji

Julian KOMINOWSKI¹, Bogdan SOWIŃSKI²

Streszczenie

W artykule przedstawiono jakościową ocenę stanu toru zmodernizowanej linii kolejowej przed oraz po regulacji toru w płaszczyźnie poziomej i pionowej. Do badań wybrano zmodernizowany odcinek eksploatowanej linii kolejowej nr 271 Poznań – Wrocław. Scharakteryzowano wybrane usterki nawierzchni oraz określono pracę eksploatacyjną wykonaną przed ich usunięciem. Przedstawiono wybrane wyniki pomiarów stanu toru metodą pośrednią oraz bezpośrednio, a także długości występujących fal. Porównano z wartościami odchyłek dopuszczalnych według obowiązujących przepisów. Dokonano pomiarów odpowiedzi dynamicznej pojazdu pomiarowego, rejestrując przyspieszenia drgań w wybranych miejscach układu biegowego. Przeprowadzone badania i analizy wykazały, iż pomiary układu geometrycznego toru kolejowego wykonane metodą pośrednią oraz bezpośrednio mają podobny charakter przy odmiennych wartościach. Różnice pomiędzy uzyskanymi wynikami wpływają na obliczane wskaźniki jakości oraz powodują odmienną ocenę stanu toru przy założonych odchyłkach dopuszczalnych. Wyniki odpowiedzi dynamicznej pojazdu pomiarowego przed i po regulacji toru wskazują na poprawę stanu toru. Wykonane badania są częścią pracy mającej na celu określenie stopnia degradacji infrastruktury w funkcji obciążenia całkowitego.

Słowa kluczowe: infrastruktura kolejowa, układ geometryczny toru, diagnostyka

1. Wstęp

Po okresie znikomych inwestycji w infrastrukturę kolejową, w ostatnich latach między innymi dzięki środkom z Unii Europejskiej, jest zauważalny znaczny wzrost zakresu robót modernizacyjnych na liniach kolejowych. Prace obejmują nie tylko główne korytarze transportowe, ale również linie kolejowe o znaczeniu regionalnym. Wynikiem inwestycji jest wzrost od 2011 roku łącznej długości torów, na których zwiększono prędkość i zmniejszenie długości torów, na których prędkość uległa obniżeniu [7]. Jakość robót modernizacyjnych ma duże znaczenie w procesie utrzymania torów oraz w zarządzaniu ruchem kolejowym. Jednakże długie terminy realizacji prac, konieczność utrzymania ruchu na liniach dwutorowych oraz fazowanie robót wymagają wprowadzenia eksploatacyjnych odbiorów torów. Po takich częściowych odbiorach, na tych odcinkach zazwyczaj jest wprowadzany ruch pociągów z ograniczoną prędkością. Dodatkowo duża liczba inwestycji oraz warunki przetargowe, w których znaczną rolę odgrywa wartość oferty, często prowadzą do wyboru wykonawców bez odpowiednich narzędzi czy doświadczenia w prowadzeniu rewitalizacji lub modernizacji linii kolejowych. Takie działania poważnie wpływają na jakość prowadzonych prac. Nierówności nawierzchni kolejowej powstałe w wyniku przeprowa-

dzonych robót są nazywane przez komisje odbiorcze usterkami, podobnie jak nierówności powstałe wskutek eksploatacji toru przed odbiorem ostatecznym. Przed tym odbiorem wykonawca jest zobowiązany do usunięcia powstałych usterek nawierzchni i przywrócenia założonych w warunkach przetargowych parametrów stanu toru. Prawidłowa ocena stanu toru po robotach wpływa na planowanie procesu utrzymania oraz racjonalną politykę finansową.

2. Odcinek pomiarowy i metoda badań

Przedstawione w artykule wyniki badań dotyczą odcinka toru, który może być traktowany jako typowy dla polskiej infrastruktury kolejowej. Odcinkiem pomiarowym jest odcinek modernizowanej linii kolejowej nr 271 Wrocław – Poznań. Celem modernizacji nawierzchni kolejowej oraz infrastruktury towarzyszącej na wybranym odcinku jest dostosowanie go do prędkości 160 km/h w ruchu pasażerskim i prędkości 120 km/h w ruchu towarowym. Konstrukcję nawierzchni stanowią:

- bezстыkowe szyny typu 60E1,
- podkłady strunobetonowe z przytwierdzeniem SB o rozstawie 60 cm, ułożone na warstwie podsypki tłuczniowej o grubości 35 cm,

¹ Mgr inż.; Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu; e-mail: julian.kominowski@put.poznan.pl.

² Prof. nzw. dr hab.; Politechnika Warszawska, Wydział Transportu.

Przyjęto moduł odkształcenia podtorza na poziomie torowiska równy 120 MPa, odpowiedni dla linii kategorii magistralnych i pierwszorzędnych [11]. Modernizowaną linię kolejową dostosowano do prędkości 200 km/h w zakresie układu geometrycznego torów, dopuszczalnych obciążeń dynamicznych obiektów inżynierskich, zwiększonych wymagań bezpieczeństwa oraz rozstawu podpór sieci trakcyjnej. Od momentu oddania do eksploatacji, prędkość drogowa na wybranym odcinku wynosi 100 km/h. W pomiarach bezpośrednich i pośrednich automatycznie rejestrowanymi wielkościami były: szerokość toru, różnice wysokości toków szynowych, wichrowatość oraz nierówności pionowe i poziome toru. Pomiary bezpośrednio wykonano w następujących terminach:

- pomiar 1: czerwiec 2014 roku,
- pomiar 2: I połowa września 2014 roku,
- pomiar 3 i 4: II połowa września 2014 roku.

Pomiary pośrednie przeprowadzono w następujących terminach:

- pomiar 1: maj 2014 roku,
- pomiar 2: wrzesień 2014 roku.

Pomiary bezpośrednio wykonano elektronicznym toromierzem wózkowym, a pomiary pośrednie drezyną pomiarową EM 120. W sierpniu 2014 roku analizowany odcinek był wyłączony z ruchu. W tym czasie wykonawca przeprowadził roboty naprawcze w celu usunięcia nierówności powstałych podczas eksploatacji i dostosowania układu geometrycznego toru do prędkości 160 km/h.

Pomiary bezpośrednio nr 3 i 4 wykonano jednocześnie. Pomiary nr 1, 2 i 3 przeprowadzono tym samym toromierzem eksploatowanym od 10 lat, pomiar nr 4 - toromierzem nowym. Celem badań była weryfikacja wyników pomiarów dwóch toromierzy wózkowych tego samego producenta mających aktualne dopuszczenie do użytkowania przez Polskie Linie Kolejowe.

Instrukcje kolejowe [6, 10] zezwalają na stosowanie tych przyrządów w diagnostyce stanu toru przy odbiorach linii po rewitalizacji oraz modernizacji do prędkości 160 km/h oraz dopuszczają wyniki pomiarów pośrednich i bezpośrednich do oceny stanu toru. Instrukcje nie precyzują wieku, stanu urządzeń oraz nie przewidują weryfikacji przeprowadzonych pomiarów.

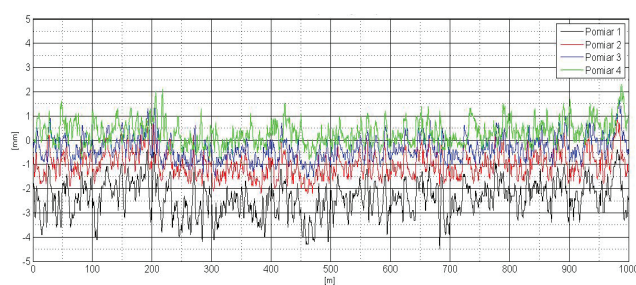
Krok pomiarowy w metodzie bezpośredniej wynosił 0,5 m i 0,25 m w metodzie pośredniej, a wichrowatość toru obliczana była na bazie pomiarowej wynoszącej 5 m. W dniu pierwszego pomiaru bezpośredniego przeniesione obciążenie całkowite oszacowano na 4,5 Tg, a w czasie pierwszego pomiaru pośredniego na 4 Tg.

Zdaniem autorów, o stanie toru nie decyduje tylko położenie geometryczne toru i dlatego wyniki badań układu geometrycznego powiązano z badaniami dynamiki pojazdów kolejowych. Podczas pomiarów pośrednich na wybranym odcinku zbadano przyspieszenia

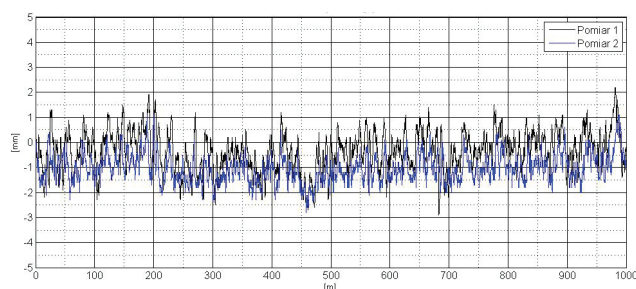
drgań wybranych elementów układu biegowego pojazdu. Przetworniki drgań zamontowano zgodnie z [3]. Badania odpowiedzi dynamicznej drezyny pomiarowej wykonano przy stałej prędkości jazdy około 60 km/h. Jednym z celów badań było również porównanie wyników pomiarów wykonanych metodą bezpośrednią i pośrednią. Pomiary układu geometrycznego toru kolejowego oraz dynamiki pojazdu pomiarowego wykonano na tym samym odcinku o długości 1000 m. Badania wykonano przed regulacją położenia toru oraz po jej przeprowadzeniu. Na wybranym fragmencie obowiązywało ograniczenie prędkości do 100 km/h dla pociągów pasażerskich i towarowych.

3. Analiza pomiarów położenia geometrycznego toru zmodernizowanego odcinka linii kolejowej

Na rysunkach nr 1 i 2 przedstawiono pomiary bezpośrednio oraz pośrednio szerokości toru na wybranym odcinku. Zgodnie z instrukcją [10], odchyłka szerokości toru zmodernizowanego do prędkości 160 km/h wynosi 2 mm dla zwężeń i poszerzeń. W przypadku pomiarów bezpośrednich zauważono analogiczne przebiegi charakterystyk wszystkich pomiarów. Niewielkie przesunięcie poszczególnych przebiegów wynika z błędów pomiarowych drogi. Podczas pomiaru nr 1 stwierdzono występowanie zwężenia toru na znacznej części badanego odcinka. Wyniki kolejnych badań wskazują na poprawę szerokości toru. Pomiary nr 3 i 4 nie wykazują znaczących przekroczeń założonych odchyłek po wykonanych robotach regulacji.



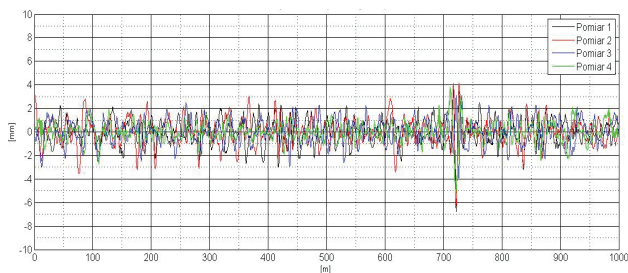
Rys. 1. Szerokość toru zmierzona metodą bezpośrednią



Rys. 2. Szerokość toru zmierzona metodą pośrednią

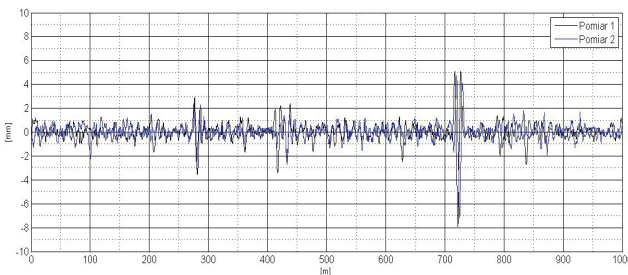
W analizie pomiarów pośrednich wykonanych drewną pomiarową EM 120 stwierdzono również analogiczny przebieg wykresów. Pierwszy i drugi pomiar wykazał punktowe, niewielkie przekroczenia założonych odchyłek z tendencją do zwężeń.

Dopuszczalna odchyłka nierówności pionowych dla torów po modernizacji do prędkości 160 km/h wynosi 3 mm [10]. Analiza pomiarów bezpośrednich nierówności pionowych (rys. 3) wskazuje na duże amplitudy nierówności podczas drugiego pomiaru, czyli przed regulacją położenia toru. Po regulacji dokonano jednoczesnego pomiaru dwoma toromierzami wózkowymi (pomiar 3 i 4). Obydwa pomiary wykazały zmniejszenie amplitud nierówności pionowych. Dostrzeżono także różnice w przebiegach drogi w metodzie bezpośredniej i pośredniej.



Rys. 3. Nierówności pionowe zmierzone metodą bezpośrednią

Analizując pomiary nierówności pionowych drewną pomiarową EM 120 przedstawione na rysunku 4, zauważono dwa analogiczne przebiegi wykresów. Amplitudy przekraczające założone odchyłki pokrywają się ze sobą. Pojawiające się piki nierówności pionowych w nowym torze są efektem przyjętej metody pomiaru pośredniego oraz dynamicznego oddziaływania pojazdu z torem w miejscach zmiany sztywności toru spowodowanej połączeniami łubkowymi szyn przed ich zgrzewaniem.

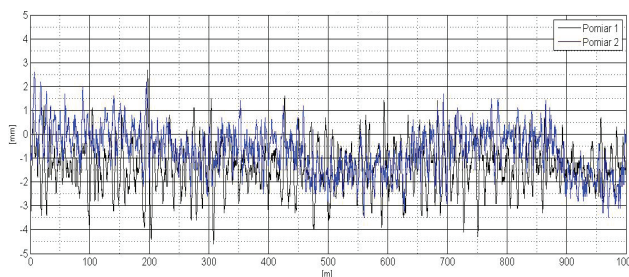


Rys. 4. Nierówności pionowe zmierzone metodą pośrednią

W pomiarach pośrednich stwierdzono mniejszą liczbę przekroczeń dopuszczalnej odchyłki w porównaniu do pomiarów bezpośrednich. Niewielkie przesunięcia w wyraźnych pikach nierówności pionowych

wynikają z niedokładnego pomiaru przebytej drogi. Wykresy pomiarów wykonanych pojazdem pomiarowym są czytelniejsze.

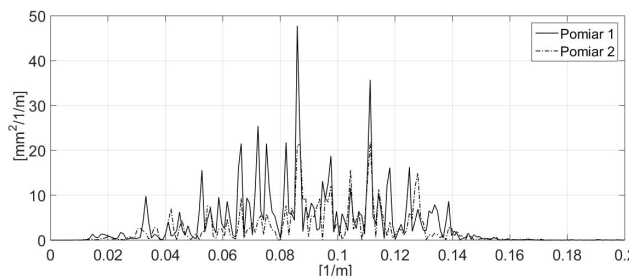
Dopuszczalna odchyłka nierówności poziomych na badanej linii kolejowej wynosi 4 mm [10]. Na rysunku 5 przedstawiono wykres nierówności poziomych zmierzonych metodą pośrednią. Analiza wykazała występowanie miejscowych amplitud nierówności przekraczających dopuszczalną odchyłkę.



Rys. 5. Nierówności poziome zmierzone metodą pośrednią

Stwierdzono, iż bezpośrednie pomiary nr 3 i 4 szerokości są zbliżone oraz pokazują poprawę szerokości toru w wyniku regulacji położenia toru. W badaniach pośrednich nie dostrzeżono tak istotnych zmian szerokości toru po regulacji, jak w przypadku badań toromierzem wózkowym. Na podstawie dwóch jednoczesnych pomiarów bezpośrednich stwierdzono występowanie w pomiarze nr 3 większej liczby punktowych przekroczeń dopuszczalnej odchyłki nierówności pionowych.

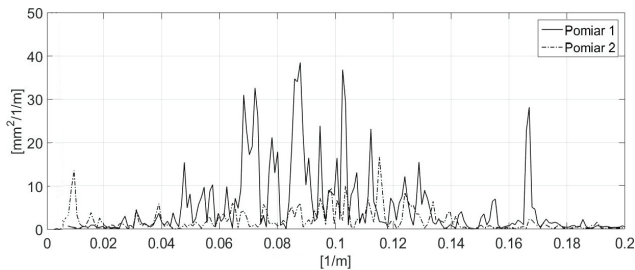
W analizie gęstości widmowej nierówności pionowych potwierdza się zmniejszenie amplitud tych nierówności (rys. 6). Zarejestrowane długości fal nierówności pionowych mieszczą się w przedziale od około 7 m do około 50 m. Podczas pomiarów badanego odcinka zauważono dominujące dwie fale nierówności pionowych o długościach około 9 i 12 m. Zakres długości fal przed oraz robotach regulacji toru pozostał niezmienny.



Rys. 6. Gęstość widmowa mocy nierówności pionowych lewego toru szynowego zmierzonych metodą pośrednią

Analiza gęstości widmowych nierówności poziomych również potwierdza zmniejszenie amplitud tych nierówności (rys. 7). Zarejestrowane długości fal nierówności poziomych mieszczą się w przedziale od około 5 m do około 60 m. Podczas analizy wyników

pomiaru nr 1 zaobserwowano dominujące fale nierówności poziomych o długościach od około 14 m do około 10 m. Zakres długości fal przed oraz po robotach regulacji toru pozostał na niezmiennym poziomie.



Rys. 7. Gęstość widmowa mocy nierówności poziomych lewego toku szynowego zmierzonych metodą pośrednią

W tabelicy 1 przedstawiono wartości energii w paśmie gęstości widmowych mocy nierówności pionowych oraz poziomych zmierzonych drezyną pomiarową. Przytoczone wartości wskazują na większe zmiany nierówności poziomych w porównaniu do nierówności pionowych po robotach regulacji położenia toru.

Tabela 1

Wartości energii w paśmie pomiarów pośrednich

Numer pomiaru	Nierówność pionowa	Nierówność pozioma
1	0,838	2,189
2	0,725	1,406

Tabela 2

Współczynniki korelacji Pearsona widm pomiarów pośrednich

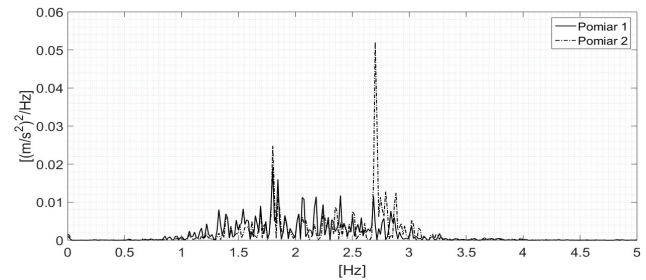
Numery pomiarów	Nierówność pionowa	Nierówność pozioma
1-2	0,790	0,924

Współczynniki korelacji Pearsona dla gęstości widmowych mocy nierówności pionowych oraz poziomych (tabl. 2) wskazują na mniejsze zmiany nierówności poziomych pomierzonych metodą pośrednią. Wartość współczynnika korelacji nierówności poziomych jest znacznie większa niż nierówności pionowych i wskazuje na dużą zależność liniową dla tych nierówności.

4. Analiza odpowiedzi dynamicznej pojazdu pomiarowego

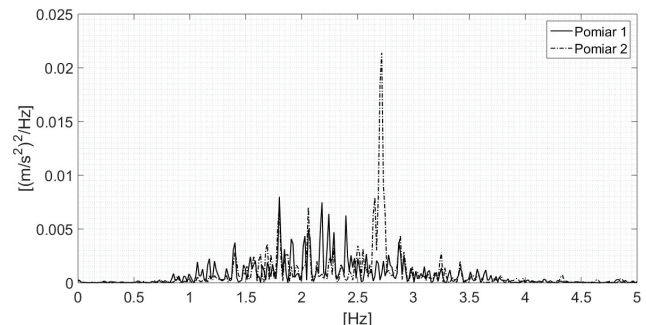
Podczas pomiarów pośrednich układu geometrycznego toru na wybranym odcinku zarejestrowano przyspieszenia drgań wybranych elementów pojazdu pomiarowego. Na rysunku 8 przedstawiono gęstości

widmowe mocy przyspieszeń drgań pionowych zarejestrowanych na ramie pojazdu pomiarowego nad czopem skreту wózka atakującego. Rysunki 9 i 10 przedstawiają gęstości widmowe przyspieszeń drgań pionowych oraz poprzecznych zarejestrowanych w centralnej części podłuznicy wózka atakującego.

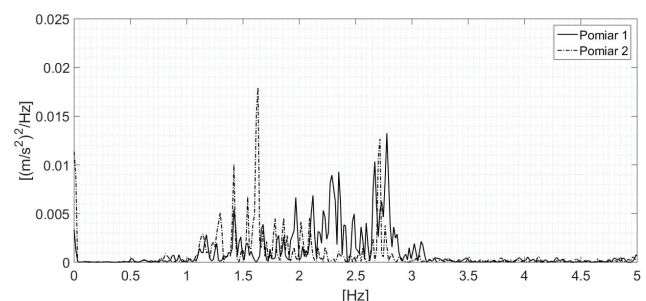


Rys. 8. Gęstość widmowa mocy przyspieszeń pionowych nadwozia

Wyniki przedstawione na rysunku nr 8 wskazują, iż maksymalne przyspieszenia drgań pionowych zarejestrowanych na nadwoziu pojazdu oscylują w granicach od około 1,4 Hz do około 3 Hz. Przy prędkości pomiaru około 60 km/h odpowiadają one falom nierówności pionowych o długości od około 5,5 m do około 11 m.



Rys. 9. Gęstość widmowa mocy przyspieszeń pionowych ramy wózka atakującego



Rys. 10. Gęstość widmowa mocy przyspieszeń poprzecznych ramy wózka atakującego

Częstotliwości maksymalnych przyspieszeń drgań pionowych wózka atakującego pojazdu oscylują w granicach od 2 Hz do około 19 Hz; odpowiadają one falom nierówności o długościach od 1 m do około 8 m.

W analizie gęstości widmowych mocy przyspieszeń drgań poprzecznych na ramie wózka (rys. 10) dla największych wartości przyspieszeń zarejestrowano częstotliwości drgań od 2 do około 15 Hz. Częstotliwości te odpowiadają długościom fal nierówności poziomych od około 1 m do około 8 m.

W analizie wartości energii w paśmie dla zarejestrowanych przyspieszeń drgań (tabl. 3) dostrzeżono zmniejszenie wartości po regulacji położenia toru. Uzyskane wyniki potwierdzają poprawę jego stanu. Wartości amplitud nierówności uległy zmniejszeniu, wpływając na hałas oraz komfort podróży.

Tablica 3

Wartości energii w paśmie przyspieszeń drgań

Miejsce pomiaru	Pomiar 1	Pomiar 2
Rama pojazdu – oś Z	0,286	0,272
Rama wózka – oś Z	1,482	0,682
Rama wózka – oś Y	0,576	0,417

5. Wnioski

Analiza wybranych nierówności położenia geometrycznego toru na zmodernizowanym odcinku linii kolejowej wykazała różnicę pomiędzy pomiarami bezpośrednimi i pośrednimi. Pomiary bezpośrednie pokazały znacznie większe różnice w szerokości toru w porównaniu do pomiarów pośrednich wykonanych w podobnym okresie. Pomiary bezpośrednie wykazały duże amplitudy nierówności pionowych przed robotami regulacji toru oraz ewolucję nierówności w porównaniu do wcześniejszego pomiaru. Wyniki pomiarów bezpośrednich szerokości toru wskazały znaczną poprawę szerokości toru po robotach korygujących w przeciwieństwie do wyników uzyskanych z pomiarów pośrednich. Przy budowie oraz odbiorach linii kolejowej do prędkości 160 km/h nawet niewielkie różnice mają duże znaczenie przy założonych odchyłkach [10]. Gęstości widmowe nierówności pionowych i poziomych wykazały poprawę stanu nawierzchni. Długości fal analizowanych nierówności pozostały niezmiennione, co może świadczyć o niewielkim wpływie przeprowadzonych robót. Wartości energii w paśmie nierówności pionowych, poziomych oraz przyspieszeń drgań wskazują na poprawę stanu toru po jego regulacji. Dodatkowo niezmiennosc dłu-

gości fal potwierdza hipotezę, iż geometryczne cechy nierówności kształtowane są w czasie budowy oraz na początku eksploatacji linii kolejowej. Fale nierówności pionowych i poziomych wpływają na spokojność jazdy, hałas oraz stan techniczny taboru.

Literatura

1. Chudzikiewicz A.: *Monitorowanie stanu układu dynamicznego pojazd szynowy – tor*, Wydawnictwa Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2012.
2. Czechyra B., Firlik B., Tomaszewski F.: *Technical state monitoring method of light rail track wear*, W: Proceedings of the Fourth European Workshop on Structural Health Monitoring 2008. Edited by: UHL, OSTROWSKI, HOLNICKI-SZULC. DESTrech Publications, Inc., 439 North Duke Street Lancaster, Pennsylvania 17602 USA. ISBN 978-1-932078-94-7, pp 167-174.
3. 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.
4. Esveld C.: *Modern railway track*, Delft University of Technology 2001.
5. Firlik B., Czechyra B., Chudzikiewicz A.: *Condition Monitoring System for Light Rail Vehicle and Track*, Key Engineering Materials Vol. 518 (2012), s. 66-75.
6. Instrukcja o dokonywaniu pomiarów, badań i oceny stanu torów Id-14, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2005.
7. Massel A.: *Odwracanie trendu degradacji infrastruktury*, Rynek Kolejowy, nr 6/2014.
8. PN-EN14363:2007: Badania właściwości dynamicznych pojazdów szynowych przed dopuszczeniem do ruchu, Badanie właściwości biegowych i próby stacjonarne.
9. Sowiński B.: *Interrelation between wavelengths of track geometry irregularities and rail vehicle dynamic properties*, Archives of Transport, Issue 1-2, Vol. 25-26, 2013.
10. Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych Id-1, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2005.
11. Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego Id-3, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2009.

Quality Assessment of Surface Railway Track After Correction Process

Summary

Article shows quality assessment of surface modernized railway track before and after correct process. Object of research is modernized and exploitation section railway lines no. 271 Poznań – Wrocław. Shown selected defects of track geometry and estimated traffic load. Moreover shows selected results of direct and indirect track geometry measurement and wavelengths of track geometrical irregularities was found. Results of analysis was confronted and referenced to current regulations. Simultaneously recording car dynamic response was measurement.

Results analysis shown direct and indirect measurement of track geometry, wavelengths of track geometrical irregularities were similar but their amplitude was different. Difference between results affect to rail quality index and to assessment of rail state. Measurements made on the same track indicate, that the wavelengths of irregularities did not change, but their amplitudes are changed. Results of vehicle dynamic response before and after correct process confirm improvement.

Keywords: railway infrastructure, track geometry, diagnostics

Качественная оценка состояния верхнего строения пути после процесса выравнивания

Резюме

В статье описана качественная оценка состояния верхнего строения пути до и после работ выравнивающих поверхность пути. Для исследований использован модернизированный и эксплуатируемый участок железнодорожной линии 271 Познань – Вроцлав. Указаны выбранные недостатки поверхности и уточнен вид эксплуатационной работы перед их удалением. Представлены выбранные результаты измерений состояния поверхности посредственным и непосредственными методами, а также длину волн. Полученные результаты сравнены со стоймостью согласной действующим правилам. Проведены измерения динамической реакции измерительной подвижной единицы. Динамика единиц подвижного состава определена при помощи измерения виброускорения в выбранных местах ходовой части.

Проведенные исследования показали, что измерения геометрии пути посредственным и непосредственным методом, в сопоставлении обладают аналогичными свойствами при разных свойствах. Разницы между полученными результатами влияют на качественные факторы и вызывают разные оценки состояния пути в принятых пределах толерантности. Результаты динамической реакции измерительной подвижной единицы до и после работ выравнивающих маршруту и поверхность пути указывают на улучшение состояния пути. Проведенные эксперименты являются частью работ имеющих в виду определение уровня деградации инфраструктуры при оценке целой нагрузки.

Ключевые слова: железнодорожная инфраструктура, геометрия пути, диагностика