

# Rozwój nierówności na nowym odcinku toru kolejowego

Julian Kominowski, Bogdan Sowiński

W artykule omówiono rozwój nierówności zmodernizowanego odcinka toru kolejowego na linii kolejowej 271 pomiędzy Poznaniem a Wrocławiem. Pomiarów nierówności dokonano przy użyciu metody pośredniej oraz bezpośredniej. Do badań pośrednich posłużyła drezyna pomiarowa EM120, a pomiary bezpośrednie wykonano przy użyciu ręcznego toromierza wózkowego. Pomiarów dokonywano w różnych okresach czasu przy uwzględnieniu wykonanej pracy eksploatacyjnej. Przedstawiono analizę stanu technicznego wytypowanego odcinka w zakresie krótkich fal wybranych nierówności. Dokonano konfrontacji zmierzonych nierówności przy użyciu dwóch metod pomiarowych. Ukazano wzrost wybranych nierówności bezpośrednio wpływających na hałas i komfort jazdy pociągów.



mgr inż.,  
Julian Kominowski  
Politechnika Poznańska  
Wydział Maszyn Roboczych i Transportu  
Instytut Silników Spalinowych i Transportu

prof. nzw. dr hab. inż.  
Bogdan Sowiński  
Politechnika Warszawska  
Wydział Transportu  
Zakład Podstaw Budowy Urządzeń Transportowych

## Wstęp

Proces rewitalizacji i modernizacji infrastruktury w Polsce został wyraźnie dostrzeżony pod koniec 2011 roku. Wraz z wejściem nowego rozkładu jazdy łączna długość odcinków torów na których została podniesiona prędkość szlakowa była większa od długości odcinków, na których prędkość uległa obniżeniu [6]. Unijne dofinansowanie oraz zwiększenie dotacji państwowych pozwoliło na zwiększenie liczby poprawiających stan infrastruktury projektów prowadzonych przez PKP Polskie Linie Kolejowe. Zakres oraz harmonogram prowadzonych prac na liniach kolejowych całego kraju jest ustalany indywidualnie, jednak jakość wykonania nawierzchni i podtorza określają jednolite przepisy. W artykule przedstawiono analizę ewolucji wybranych nierówności toru kolejowego po oddaniu do eksploatacji na zmodernizowanym odcinku linii 271.

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, z elementami 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. Podczas przeprowadzonych badań dokonano dwóch pośrednich i bezpośrednich pomiarów geometrii toru kolejowego. Drezyna pomiarowa dokonywała pomiaru następujących wielkości: szerokość toru, wchrowatość, przechyłka, a także nierówności pionowych oraz poprzecznych dwóch toków szynowych jednocześnie. Drezyna pomiarowa w dniu 27 listopada 2013 roku, w chwili dokonywania pomiarów poruszała się ze stałą prędkością ok. 50 km/h oraz ok. 60 km/h w dniu 17.05.2014 r. Pomiarów bezpośrednich dokonano przy pomocy toromierza TEC, najpowszechniej używanego urządzenia do pomiarów stanu toru przez PKP Polskie Linie Kolejowe. Mierzonymi wielkościami były szerokość, przechyłka, wchrowatość oraz nierówności pionowe

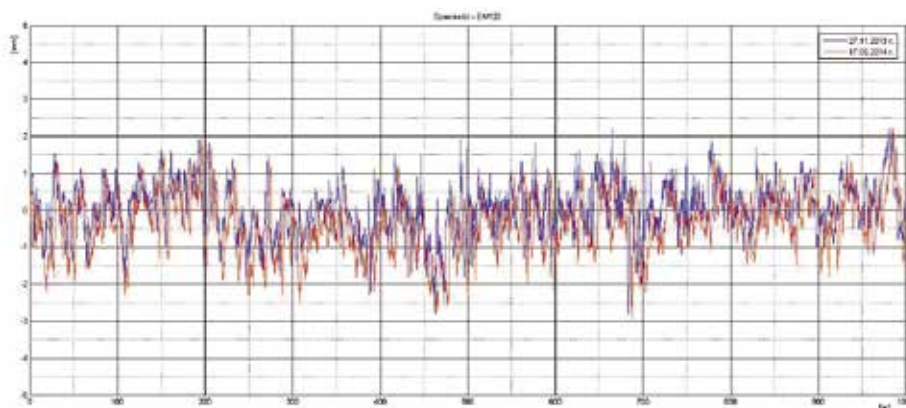
i poziome toru. Pomiary wykonano w dniu 10.10.2013 r. oraz po ponad ośmiu miesiącach eksploatacji, w dniu 23.06.2014. Zmierzona geometria toru obydwojoma metodami rejestrowana była automatycznie. Krok pomiarowy w metodzie bezpośredniej wynosił 0,5 m oraz 0,25 m w metodzie pośredniej, a wchrowatość toru obliczana była na bazie pomiarowej wynoszącej 5 m.

## Analiza wybranych nierówności zmierzonych metodą pośrednią

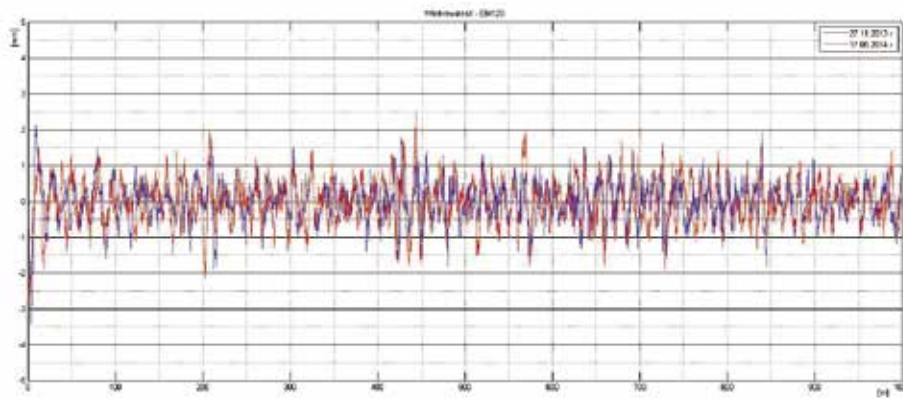
Analizie poddano pomiary szerokości oraz wchrowatość toru na wybranym fragmencie zmodernizowanego odcinka linii kolejowej 271 (rysunki 1 i 2). Zgodnie z instrukcją [8] odchyłka szerokości dla toru zmodernizowanego do prędkości 160 km/h wynosi 2 mm dla zwężzeń i poszerzeń. Dla wchrowatości mierzonej na bazie 5 m odchyłka wynosi 5 mm.

Powyższe porównania zmierzonej drezyną pomiarową EM120, szerokości oraz wchrowatości wskazują na niewielkie różnice wartości pomiędzy wykonanymi pomiarami. Dodatkowo wartości pomiarów wskazują na występowaniu niewielkich zwężzeń, będących na granicy błędu pomiarowego. Zmierzona wchrowatość w pełni mieści się w założeniach dopuszczalnej odchyłki.

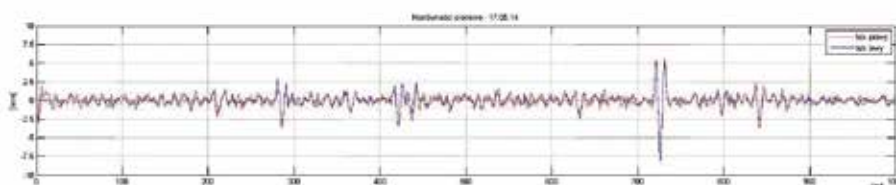
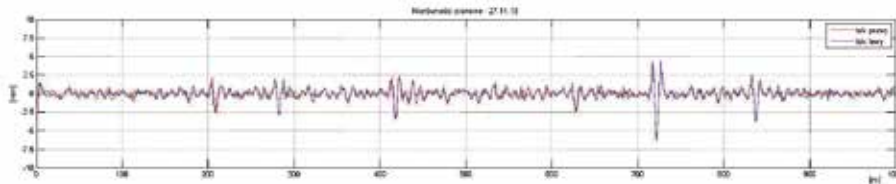
Na rysunku 3 przedstawiono wyniki po-



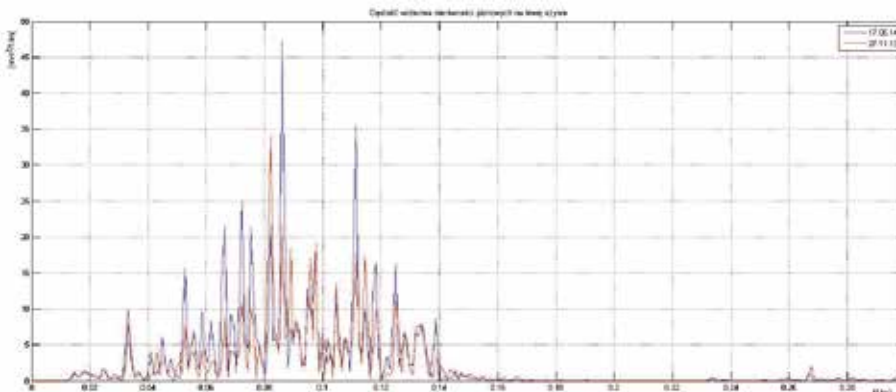
1. Szerokość toru na wybranym odcinku zmierzona metodą pośrednią



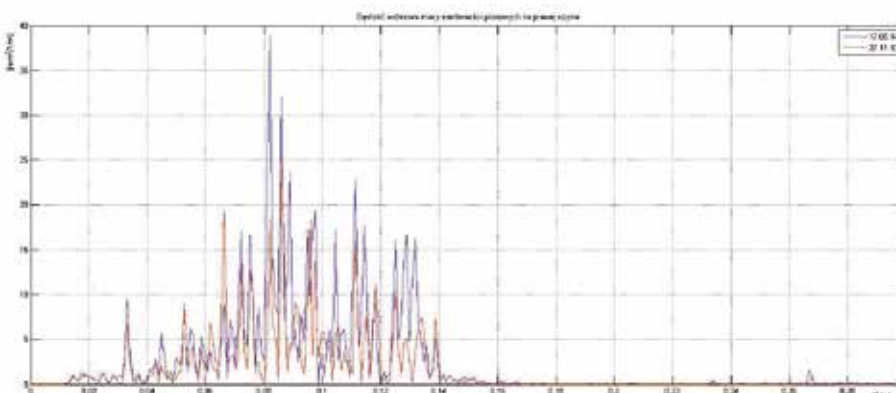
2. Wachrowatość toru na wybranym odcinku zmierzona metodą pośrednią



3. Nierówności pionowe na wybranym odcinku zmierzone metodą pośrednią



4. Gęstość widmowa mocy nierówności pionowych lewego toku szynowego



5. Gęstość widmowa mocy nierówności pionowych prawego toku szynowego

miarów nierówności pionowych wytypowanego odcinka. Zgodnie z *Warunkami technicznymi utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych* [5] dopuszczalne odchyłki dla nierówności pionowych toru zmodernizowanego do prędkości 160 km/h wynoszą

3 mm. Amplitudy nierówności pionowych wyraźnie wskazują, który z odcinków znajduje się w gorszym stanie technicznym.

Należy tu zaznaczyć, że pojawiające się piki nierówności pionowych na torze nowym są efektem przyjętej metody pomiaru

pośredniego oraz dynamicznego oddziaływania pojazdu z torem w miejscach utraty sztywności podtorza związanej w połączeniach łubkowym przed zgrzaniem szyn.

Gęstości widmowe nierówności pionowych na omawianym odcinku potwierdzają wzrost amplitud nierówności pionowych. Analiza wyników przedstawionych na rys. 4 i 5 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 obydwu pomiarów badanego odcinka dominującą była fala nierówności pionowej o długości ok. 12 m.

Pomiędzy pomiarami na analizowanym odcinku obciążenie całkowite oszacowano na 4 mln ton. Wzrost amplitud mocy nierówności potwierdza przyrost wartości badanych nierówności toru.

## Nierówności poziome

W analogiczny sposób dokonano analizy nierówności poziomych zmierzonych drewną pomiarową EM120. Na rysunku 6 przedstawiono wyniki pomiarów nierówności poziomych wytypowanego odcinka. Amplitudy nierówności poziomych, podobnie jak pionowych, wskazują na postępującą degradację toru. Wewnętrzna instrukcja PKP PLK [8] wskazuje, iż na wybranym odcinku dopuszczalne odchyłki dla nierówności poziomych wynoszą 4 mm. Zauważono niewielkie przekroczenie tej granicy w kilku miejscach podczas drugiego pomiaru.

## Analiza wybranych nierówności zmierzonych metodą bezpośrednią

Pomiędzy badaniami pośrednimi dokonano dwóch pomiarów bezpośrednich odcinka zmodernizowanego fragmentu linii kolejowej 271 przy użyciu toromierza TEC wyprodukowanego oraz serwisowanego przez firmę GRAW. Wyniki pomiarów umieszczono na rysunkach 7 i 8. Podjęto się analizy wybranych wyników pomiarów geometrycznych do określenia stanu toru z pomiarów przeprowadzonych przed oddaniem toru do eksploatacji w dniu 10.10.2013 r. oraz po około 8 miesiącach eksploatacji, w dniu 23.06.2014 r. Pomiędzy przeprowadzonymi badaniami stanu toru obciążenie przewozami na wybranym odcinku wynosiło ok. 4,2 mln ton. Większą ilość pracy przewozowej, ze względu na prowadzone prace i wynikające z tego tytułu ograniczenia, wykonały przewozy pasażerskie.

Poddając analizie wyniki pomiaru szerokości toru pochodzące z dwóch badań bezpośrednich zauważono pomiędzy nimi zbież-



ność. W obydwu przypadkach zauważono liczne miejsca z występującymi przewężeniami. Odchyłka szerokości dla mierzonego toru wynosi  $\pm 2$  mm [4].

Bezpośrednie pomiary wichrowatości toru wskazują na nieprzekroczenie odchyłek dla tego pomiaru, które wynoszą 5 mm. Po ponad 8 miesiącach eksploatacji toru dostrzeżono wyraźne zmniejszenie amplitud wichrowatości. Nierówności pionowe pomiarzone metodą bezpośrednią przedstawione są na rysunku 9.

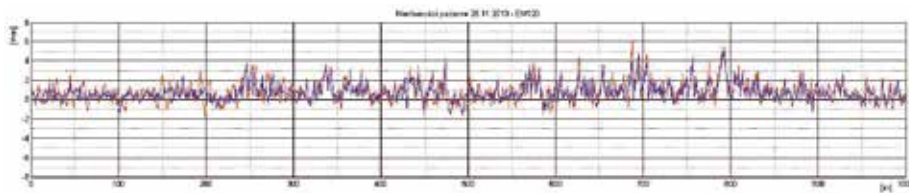
Z przeprowadzonych pomiarów nierówności pionowych na wybranym odcinku zauważono spadek wartości amplitud. Pomiar stanu toru w październiku 2013 r. odbył się na torze jeszcze nie oddanym do eksploatacji. Wyniki pomiarów nierówności pionowych oraz wichrowatości błędnie wskazują na polepszenie się stanu toru od czasu otwarcia. W czasie pomiędzy przeprowadzonymi pomiarami na wybranym odcinku nie dokonywano żadnych prac wpływających na geometrię toru. Różnica może wynikać z przeprowadzonych pomiarów na torze zupełnie nowym, na którym mogły znajdować się powierzchniowe zanieczyszczenia pochodzące z placu budowy, transportu lub procesu produkcji. Odchyłka nierówności pionowych dla zmodernizowanej linii o dopuszczalnej prędkości 160 km/h wynosi 3 mm [4]. W pierwszym pomiarze wyraźnie widać znaczne przekroczenie tej wartości.

Pomiary bezpośrednie wykonane przed oddaniem toru do eksploatacji wykazują duże sprzeczności w porównaniu do pomiarów wykonanych w czerwcu 2014 r.

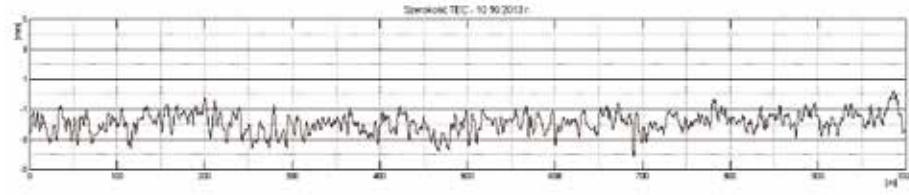
## Porównanie pośredniej i bezpośredniej metody pomiarowej na analizowanym odcinku linii 271

Instrukcje obowiązujące w Polskich Linjach Kolejowych dotyczące prowadzenia pomiarów geometrii dopuszczają metodę pomiarową pośrednią i bezpośrednią. Poniżej (rys. 10) przedstawiono wyniki pomiarów szerokości, przechyłki oraz wichrowatości wykorzystując te dwie metody. Pomiar na wybranym odcinku drezyną pomiarową EM120 wykonano w dniu 27.05.2014 r. Do pomiaru w dniu 23.06.2014 r. metodą bezpośrednią użyto toromierza wózkowego TEC, najpowszechniej stosowanego narzędzia do pomiaru stanu toru używanego w PLK S.A.

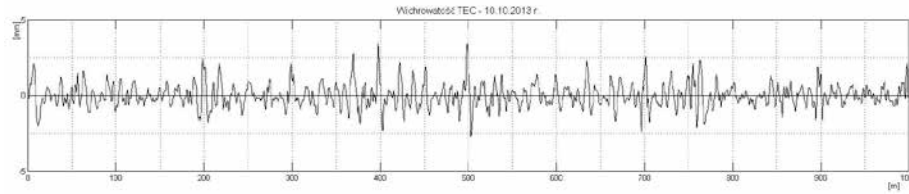
Przebieg szerokości toru na wybranym odcinku zmierzony drezyną oraz toromierzem jest analogiczny, jednak zauważalne jest wyraźne przesunięcie. Wartości pomiaru szerokości pochodzące z urządzenia TEC są niższej wartości. Biorąc pod uwagę dopuszczalną odchyłkę (2 mm) dla zmodernizowa-



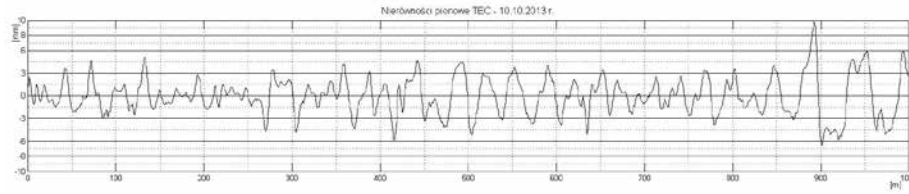
6. Nierówności poziome na wybranym odcinku zmierzone metodą pośrednią



7. Szerokość toru na wybranym odcinku zmierzona metodą bezpośrednią



8. Wichrowatość toru na wybranym odcinku zmierzona metodą bezpośrednią



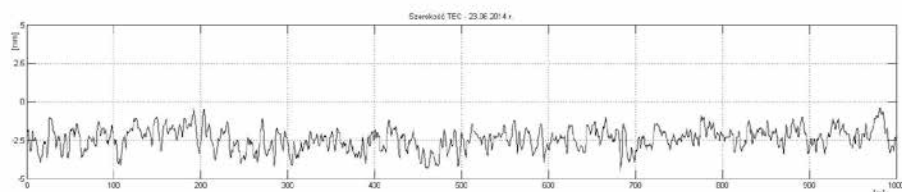
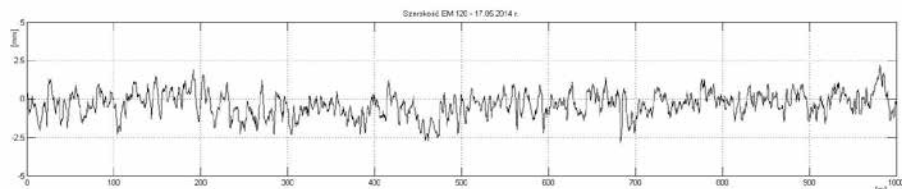
9. Nierówności pionowe toru na wybranym odcinku zmierzona metodą bezpośrednią

nego toru o prędkości 160 km/h zauważalne jest ciągle zwężenie toru. Przy tak przyjętej odchyłce oraz pomiarze wykonanym pojazdem EM120 dostrzeżono przekroczenie jedynie w kilku miejscach.

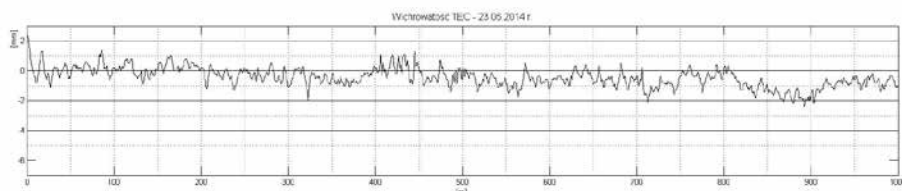
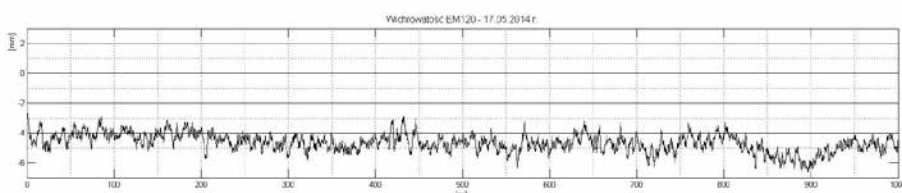
Na rysunku 11 przedstawiono porównanie zmierzonej wichrowatości. Pomiary są ze

sobą porównywalne, a wartości w obydwu przypadkach nie przekraczają dopuszczalnej odchyłki wynoszącej 5 mm [4].

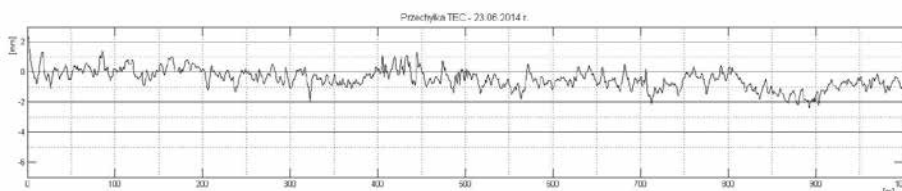
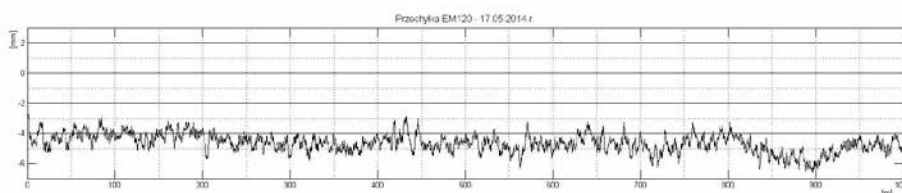
Przy porównaniu zmierzonej przechyłki toru zaobserwowano przesunięcie pomiaru względem siebie. Odrotnie jak w przypadku szerokości, wartości mniejsze przed-



**10. Szerokość toru na wybranym odcinku zmierzona metodą pośrednią i bezpośrednią**



**11. Wichrowatość toru na wybranym odcinku zmierzona metodą pośrednią i bezpośrednią**



**12. Przechyłka toru na wybranym odcinku zmierzona metodą pośrednią i bezpośrednią**

stawia pomiar wykonany dreżyną EM120. Instrukcja Id-1 dopuszcza przy odbiorze pomiar przechyłki wykonany jedynie metodą bezpośrednią, a odchyłka pomiaru wynosi 4 mm.

Pomimo analogicznych przebiegów wykresów, w przypadku zmierzonej szerokości oraz przechyłki toru, widoczne jest kilkumilimetrowe przesunięcie. Przesunięcie wpływa na wykazywane usterki w przypadku przekroczenia dopuszczalnych odchyłek oraz na wyniki syntetycznych wskaźników jakości toru.

## Wnioski

Analiza wybranych nierówności zmierzonych dreżyną pomiarową EM120 wykazała,

że wichrowatość toru po około 8 miesiącach eksploatacji pozostała na niezmiennym poziomie. Wykazano postępujące zwężenie toru, wzrost amplitud nierówności pionowych oraz poziomych, co może być naturalnym wynikiem postępującego procesu degradacji toru. Dodatkowo gęstości widmowe nierówności pionowych również wykazały wzrost amplitud, potwierdzając postępujący proces degradacji toru. Na analizowanym odcinku wykazano fale nierówności pionowych od około 7 do około 50 metrów z dominującą falą nierówności około 12 m.

Podczas analizy wybranych wyników pomiarów metodą pośrednią i bezpośrednią zauważono analogiczny przebieg zmierzonych nierówności charakterystykę z występują-

cymi mniejszymi wartościami tych samych nierówności przy pomiarach bezpośrednich. W procesie budowy linii kolejowej do parametrów prędkości 160 km/h różnice w granicach 2-3 mm odgrywają duże znaczenie dla założonych odchyłek [4]. Co więcej, zebrane wyniki bezpośrednio przekładają się na syntetyczne wskaźniki oceny stanu toru. Pomiar pośrednie i bezpośrednie dla toru nowego będą przedmiotem dalszych badań.

Powszechne przekonanie o doskonałej geometrii nowego toru okazało się w analizowanym przypadku nieprawdziwe. Zmierzone fale nierówności pionowych prowadzą do zmniejszenia komfortu jazdy, zwiększenia 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. Wrz z upływem czasu eksploatacji długość fal nierówności pozostaje niezmienną, jednak wyraźnie zauważalny jest wzrost ich amplitud. ◀

## Materiały Źródłowe

- [1] 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.
- [2] Instrukcja diagnostyki nawierzchni kolejowej Id-8, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2005.
- [3] Instrukcja dla torowozu Id-9, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2005.
- [4] Instrukcja o dokonywaniu pomiarów, badań i oceny stanu torów Id-14, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2005. Lichtenberger B., Track compendium, Eurail Press, Hamburg 2011.
- [5] Instrukcja o oględzinach, badaniach technicznych i utrzymaniu rozjazdów Id-4, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2005.
- [6] Massel A., Odwracanie trendu degradacji infrastruktury, Rynek Kolejowy, nr 6/2014
- [7] Sowinski 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.
- [8] Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych Id-1, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2005.
- [9] Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego Id-3, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2009.