



## Metody pomiarowe stosowane w zapobieganiu utracie stateczności toru bezстыkowego

DOMINIK POKROPSKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji,  
Zakład Budownictwa Komunikacyjnego, ul. gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa,  
dominik.pokropski@wat.edu.pl

**Streszczenie.** W artykule poruszono zagadnienie dotyczące wybooczenia toru bezстыkowego. Ze względu na występujące w torze siły, pochodzące zarówno od zmian temperatury, jak i od poruszającego się po torze taboru, niezbędne jest monitorowanie przemieszczeń toków szynowych oraz naprężeń w szynach. Artykuł przedstawia zestawienie metod monitorowania stanu toru bezстыkowego. Porównano również metody, wskazując wady i zalety każdej z nich.

**Słowa kluczowe:** tor bezстыkowy, wybooczenie toru bezстыkowego, naprężenia w torze

**DOI:** 10.5604/01.3001.0014.2783

### 1. Wstęp

Wzrost znaczenia transportu kolejowego powoduje powstawanie dotyczących go nowych wyzwań. Celem poszukiwania rozwiązań dla pojawiających się problemów jest poprawa jakości świadczenia usług, a więc zwiększenie prędkości i komfortu podróży koleją. Rozwiązaniem tych problemów jest coraz powszechniejsze stosowanie konstrukcji toru bezстыkowego. Podstawowym problemem występującym w takiej konstrukcji jest pojawianie się dużych naprężeń termicznych, które mogą być przyczyną pęknięcia szyny w okresie zimowym lub jej wybooczenia w okresie letnim. Zachowanie bezpieczeństwa taboru oraz podróżnych jest najważniejsze, dlatego niezbędne jest systematyczne prowadzenie diagnostyki toru bezстыkowego. W artykule przedstawiono wybrane metody badawcze umożliwiające kontrolę stanu naprężeń w torze w czasie eksploatacji. Metody te nie ingerują w eksploatację linii kolejowej, można uznać je zatem za metody nieinwazyjne.

## 2. Obserwacja miejsc podatnych na pełzanie

Na liniach zarządzanych przez PKP PLK S.A. stosowana jest pośrednia metoda kontroli naprężeń. Opiera się ona na pomiarach zmian temperatury szyny oraz przemieszczeń toku szynowego.

W celu przeprowadzenia takiej kontroli na długości toru bezстыkowego należy rozmieścić punkty stałe, którymi mogą być między innymi słupy trakcyjne bądź specjalnie wykonane wskaźniki regulacji toru.

Punkty stałe wykorzystywane do pomiarów zakładane są w tych samych przekrojach w obu tokach toru bezстыkowego. Zakłada się je wyłącznie w strefie centralnej, to jest 100 m od każdego ze styków. Według ID1 [15] punkty należy rozmieścić według następujących zaleceń:

- dla objętego obserwacją odcinka toru o długości większej niż 1000 m — po dwa punkty na szynie długiej w odległości 50 metrów od końca szyny przed ich zgrzaniem;
- dla objętego obserwacją odcinka toru o długości mniejszej niż 1000 m — w zależności od warunków lokalnych punkty stałe w odległościach od 50 m do 200 m od siebie.

Przepisy ID1 [15] precyzują położenie punktów stałych w taki sposób, aby umożliwiły one poprowadzenie prostej linii służącej jako odniesienie. Pomiar punktu bazowego dokonywany jest według poprowadzonej linii. Za punkt bazowy uznaje się nacięcie na płaszczyźnie bocznej główki szyny dokonane podczas pierwszego pomiaru. Punkty muszą być przyjęte tak, aby prosta odniesienia była odtwarzalna, nawet jeżeli pomiędzy kolejnymi pomiarami występują duże odstępy czasu. Linię odniesienia stanowić może na przykład żyłka rozpięta pomiędzy obiektami trwale posadowionymi w gruncie.

Pierwszy pomiar z wykorzystaniem punktów stałych musi być dokonany bezpośrednio po ułożeniu szyny długiej na podkładach kolejowych oraz przytwierdzeniu jej w trakcie procesu technologicznego wykonania toru bezстыkowego. Pomiar ten jest odniesieniem dla wykonywanych obliczeń sił przy kolejnych pomiarach. Z tego powodu niezbędne jest wpisanie go do dzienniczka pomiarów.

Kolejny pomiar przeprowadza się już po zakończeniu wszystkich robót, w trakcie których układano tor bezстыkowy. Pozwala on określić wpływ prac wykonanych po przytwierdzeniu szyn długich na zmiany wartości sił podłużnych. To od tych pomiarów zależy wiarygodność pomiarów w następnych latach.

Po przeprowadzeniu pomiarów i zapisaniu wyników możemy obliczyć zmianę naprężeń  $\Delta\sigma$  w szynie, wykorzystując wzór [13]:

$$\Delta\sigma = E \cdot \frac{\Delta L_s}{L_s} [\text{MPa}] \quad (1)$$

gdzie:  $E$  — moduł Younga,

$L_s$  — długość szyny w temperaturze początkowej,

$\Delta L_s$  — zmiana długości szyny wskutek pełzania.

### 3. Metoda pomiaru odkształceń podłużnych toru

W Polsce już od lat siedemdziesiątych XX wieku prowadzone są badania mające umożliwić określanie sił podłużnych w torze z wykorzystaniem urządzeń elektromechanicznych oraz elektrodynamicznych. W badaniach prowadzonych w Politechnice Gdańskiej wykorzystywany był przyrząd mierzący odkształcenia szyn, tak zwany ekstensometr [7]. Urządzenie przedstawiono na rysunku 1. Jego działanie oparte było na pomiarach na bazie o długości 200 mm [5]. Bazę stanowiły przyspawane do szyny bolce pomiarowe. Pomiary wykonywano na szynie toru bezстыkowego, ale także na ułożonym obok torowiska kawałku szyny kompensacyjnej. Odcinek szyny ułożono obok w celu stworzenia odnośnika i zbadania, jak zachowuje się szyna mająca możliwość rozszerzania bądź skurczu termicznego bez oporu podkładów i przytwierdzeń.



Rys. 1. Ekstensometr podczas pomiarów prowadzonych w latach siedemdziesiątych [8]

Badania przeprowadzono zarówno na torze układanym przęsłami, jak i na fragmencie wykonanym metodą bezpręsłową, w której nie wykorzystuje się szyn krótkich do układania przęseł torowych. Po analizie wyników stwierdzono, że naprężenia na długości toru nie mają równomiernego rozkładu i są uzależnione od stabilizacji toru w początkowym okresie eksploatacji oraz metody wykonania odcinka.

Podstawowym wnioskiem, jaki otrzymano po analizie wyników badań, było stwierdzenie, że rozkład naprężeń w torze bezстыkowym jest niejednorodny, przy czym niejednorodność ta w czasie wzrasta. Należy zatem przeprowadzać cykliczne pomiary i regulacje naprężeń w torze bezстыkowym.

Drugą metodą opierającą się na pomiarach zmian długości bazy pomiarowej jest opracowana na Politechnice Krakowskiej analiza z wykorzystaniem urządzenia MS-02 [8].

Urządzenie pomiarowe, przedstawione na rysunku 2, jest wykonane z materiału, którego współczynnik rozszerzalności termicznej jest taki sam jak współczynnik rozszerzalności termicznej analizowanego odcinka szyny. Pomiary można zatem wykonywać, opierając się na odniesieniu położenia bolców pomiarowych wykonanym podczas ich montażu w torze. Usytuowanie bolców pomiarowych dokładnie w osi obojętnej szyny umożliwia uzyskanie wartości sił osiowych działających na szynę.



Rys. 2. Urządzenie pomiarowe MS-02 [13]

Dzięki opisanym wyżej zaletom urządzenie MS-02 miało bardzo dużą szansę na wdrożenie do stałej kontroli naprężeń na eksploatowanych liniach będących pod zarządem PKP PLK. Niestety, ze względu na brak możliwości bezpośredniego wyznaczenia temperatury przytwierdzania szyn, polski zarządca infrastruktury nie zdecydował się na wdrożenie prototypowego urządzenia do stałej eksploatacji w Sekcjach Eksploatacji Zakładu Linii Kolejowych [10].

#### 4. Metoda ultradźwiękowa pomiaru naprężeń

W latach dziewięćdziesiątych Polska Akademia Nauk wraz z Centrum Naukowo-Technicznym Kolejnictwa przeprowadziła badania wykorzystujące metody ultradźwiękowe do pomiaru sił w torze [11]. Wykorzystane zjawisko elastoakustyczne związane jest z nieliniowością właściwości sprężystych stali. Zakłada ona, że prędkość rozchodzenia się fali akustycznej zależy od naprężeń w mierzonym ośrodku. W zakresie naprężeń sprężystych prędkość rozchodzenia się fali w ośrodku jest funkcją liniową zależną od temperatury [10]. Rozchodzenie się fali ultradźwiękowej w ciele stałym warunkowane jest wieloma parametrami, tj. stałą materiałową, gęstością, temperaturą oraz strukturą materiału. Ta ostatnia związana jest z nieliniowymi właściwościami stali [7].

Pomiary naprężeń termicznych w torze bezстыkowym uwzględniać muszą, oprócz zmiany prędkości rozchodzenia się fali, również zmianę temperatury badanego ośrodka. Zmiana właściwości stali wywołuje bezpośrednią zmianę prędkości rozchodzenia się fali. Powoduje to również zmianę właściwości samego urządzenia pomiarowego. Dlatego też wprowadzono poprawki, które uwzględniają odkształcenia powstałe w głowicach pomiarowych.

Jednym z systemów pomiarowych jest system DEBRO. Służy on do badania naprężeń w eksploatowanym torze. Wykorzystuje efekt elektroakustyczny, a mianowicie związek między prędkością fali ultradźwiękowej a naprężeniem w szynach. Odczyt wyników odbywa się na podstawie analiz prędkości rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w badanej szynie. Należy jednak uwzględnić, że jest ona również zależna od temperatury szyny, gęstości materiału oraz parametrów elektroakustycznych. Ze względu na naprężenia w szynie z punktu widzenia pomiarów urządzeniem ultradźwiękowym naprężenia należy podzielić na trzy grupy [5]:

- Naprężenia powstałe podczas produkcji szyny. Stanowią one wartość niepożądaną w końcowych wynikach, stąd też zachodzi potrzeba kalibracji dla danego rodzaju szyny.
- Naprężenia eksploatacyjne – powstałe podczas ruchu taboru.
- Naprężenia termiczne – wynikające ze zmiany temperatury szyny. Ich pomiar jest właściwym celem badań szyny. Ze względu na potrzebę kalibracji urządzenia zawsze podczas pomiarów musi być dostępny fragment szyny niewbudowanej w tor, a zatem niepoddanej naprężeniom termicznym.

Na rysunku 3 pokazano miernik umożliwiający punktowe pomiary naprężeń.



Rys. 3. Miernik naprężeń przypowierzchniowych DEBRO [13]



Pomiary dotychczas wykonane z wykorzystaniem miernika DEBRO wykazały dość duży rozrzut wartości współczynnika zależności naprężeń w szynie od wzrostu temperatury. W wielu miejscach toru bezстыkowego wartości tego współczynnika osiągają wartość nawet  $1,9 \text{ MPa}/^\circ\text{C}$ , podczas gdy teoretyczna wartość tego współczynnika, wynikająca np. z prawa Hooke'a, wynosi w przybliżeniu  $2,5 \text{ MPa}/^\circ\text{C}$ . Zmienność tego współczynnika w czasie, jaką również zauważono podczas pomiarów, pokazuje, że istotnym parametrem jest nie tylko zmiana temperatury, lecz także zastosowana technologia budowy toru, prędkość wyładunku szyn z wagonów i ułożenia szyn w torze [13].

W Polsce urządzenia do pomiaru naprężeń przypowierzchniowych nie znalazły szerszego zastosowania. Natomiast w USA urządzenia do ciągłego monitorowania stanu naprężeń (*Rail Stress Module*) wykorzystywane są na bardzo dużą skalę jako narzędzia określające pęknięcie szyny oraz stopień zagrożenia wyboczeniem toru bezстыkowego. Są one używane do prowadzenia baz danych oraz szybkiego przekazania informacji o zagrożeniu maszyniście i posterunkom ruchu.

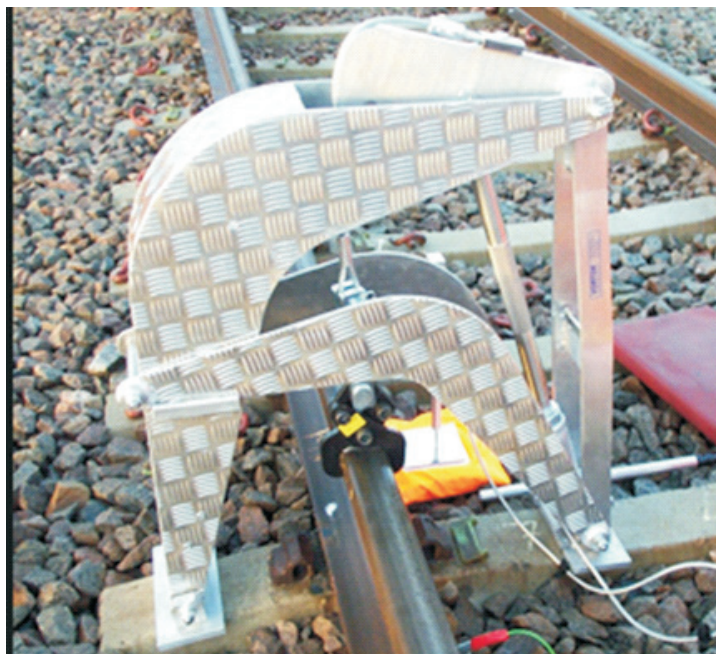
## 5. Metoda pomiaru przemieszczeń pionowych szyny

Na podstawie doświadczeń amerykańskich [16] w latach siedemdziesiątych XX wieku naukowcy rozpoczęli pracę nad bezpośrednim określaniem sił podłużnych i temperatury neutralnej w szynach z wykorzystaniem pionowych przemieszczeń szyn. Badania zakończone sukcesem pozwoliły na wdrożenie w latach dziewięćdziesiątych systemu VERSE, opracowanego przez VORTOK Ltd. [17]. Opiera się on na wykorzystaniu przenośnego urządzenia umożliwiającego tani i stosunkowo szybki pomiar. Główną zaletą urządzenia VERSE jest fakt, że pomiary wykonuje się w sposób nieniszczący. Mierzy ono temperaturę neutralną szyny, która jest niezbędna do uzyskania wartości sił podłużnych działających na tok szynowy. Uzależnia on otrzymany wynik od wartości siły pionowej, jaką należy przyłożyć do szyny w trakcie badań. Jest to zatem oparte na algorytmie analogicznym do tego, jaki opracowano w USA.

Sprzęt pomiarowy zbudowany jest z przenośnej ramy, którą nakłada się na szynę podczas wykonywania pomiaru. Podnoszenie szyny odbywa się z wykorzystaniem podnośnika hydraulicznego o bardzo dużym udźwigu. Siła przyłożona do szyny mierzona jest przy użyciu wchodzących w skład zestawu czujników oraz przetworników. W podobny sposób mierzone jest przemieszczenie pionowe szyny. W skład urządzenia wchodzi również czujniki mierzące temperaturę otoczenia. Obliczenia siły i temperatury neutralnej wykonywane są w komputerze, również dołączonym do zestawu [10]. Na rysunku 4 przedstawione zostało urządzenie podczas wykonywania pomiarów.

Pierwszą czynnością związaną z pomiarami jest demontaż przytwierdzeń szyny na długości 30 m. W środku nieprzytwierdzonego odcinka, tj. na ok. 15 m, ustawić należy podnośnik hydrauliczny. Szyna w punkcie pomiarowym chwyтана jest hakiem umożliwiającym jej poprawne dostosowanie do wymogów urządzenia oraz podwieszenie na linie pomiarowej. Producent zaleca, aby szyna była uniesiona nad podkładami po obu stronach punktu pomiarowego na długości ok. 10 m. Podniesienie pionowe podnośnikiem hydraulicznym wykonywane jest z siłą dochodzącą do nawet 10 kN. Podczas podnoszenia szyny czujniki zapisują w pamięci komputera zmianę przemieszczenia. Osiągnięcie przez podnośnik granicznej wartości podniesienia 10 kN powoduje zwolnienie obciążenia oraz sygnał dźwiękowy. Komputer zaraz po zwolnieniu obciążenia wyświetla wartości temperatury neutralnej oraz siły podłużnej, jaka jest przyłożona do badanego odcinka. Po wyświetleniu wyników urządzenie można zdemontować oraz przenieść do następnego punktu pomiarowego [10].

Przeprowadzone do tej pory testy wykazały, że dokładność uzyskanych wyników temperatury neutralnej wynosi  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ , co umożliwiło wprowadzenie urządzenia do piętnastu krajów europejskich. W Wielkiej Brytanii ta metoda jest podstawowym środkiem diagnostyki toru bezстыkowego [1].



Rys. 4. System VERSE podczas pomiarów [17]

## 6. Metoda pomiaru domen ferromagnetycznych

Na podstawie analiz magnetycznych stali węgierski zarządca infrastruktury kolejowej opracował metodę RailTest, która wykorzystuje efekt Barkhausena [2]. Oparty jest on na założeniu, że stal szynowa zbudowana jest z tzw. domen magnetycznych. Są one ograniczone tzw. ściankami Blocha. Wypadkowa siła, jakie występują w tych domenach, jest równa 0 w przypadku, gdy na element nie działa żadna zewnętrzna siła magnetyczna. Dopiero po przyłożeniu zewnętrznej siły magnetycznej domeny dążą do ukierunkowania swoich struktur. Odbywa się to zawsze zgodnie z kierunkiem działającego pola magnetycznego. Wady materiałowe bądź inne czynniki oddziałujące na szynę powodują brak ciągłości obrotu domen. Impulsowość procesu ułożenia się domen rejestrowana jest poprzez zakłócenia pola magnetycznego. Wywołuje to zmiany indukcji, co może być zarejestrowane przez cewkę indukcyjną przyłożoną do badanego fragmentu szyny. Zakłócenia te tworzą tzw. szum Barkhausena. Jego wartość uzależniona jest również od stanu naprężeń w szynach [12].

Urządzenie pomiarowe, opracowane w latach dziewięćdziesiątych przez Węgrów, jest stale udoskonalane i z powodzeniem stosowane na liniach węgierskich oraz w kilku innych krajach jako urządzenie pomocnicze. Na podstawie otrzymanych wartości szumu Barkhausena stali urządzenie RailScan określa wartość temperatury neutralnej szyny oraz wartość siły podłużnej [4]. Urządzenie przedstawione zostało na rysunku 5.



Rys. 5. Przyrząd RailScan podczas pomiarów [18]



Podstawową wadą urządzenia jest fakt, że szумы odczytywane są jedynie z małej głębokości materiału. Podczas prowadzenia pomiarów należy dokonywać częstej kalibracji urządzenia. Wynika to z faktu, że niemal dla każdego rodzaju szyn zmieniają się właściwości magnetyczne stali, a co za tym idzie również wartości odczytywanego szumu mają różny charakter. Kalibracja wymaga, aby przed rozpoczęciem badań na szlaku przeprowadzić pomiar na odcinku szyny nieułożonym w torze. Uniemożliwia to w zasadzie pomiary na odcinkach, gdzie z pewnych względów nie zachowały się szczegółowe dane dotyczące ułożonych szyn [12]. W literaturze wskazano, że do pomiaru zaledwie trzymetrowego odcinka szyny wymagane jest przeprowadzenie kalibracji niemal 400 razy. Kalibracja odbywa się poprzez pomiar odcinka szyny poza torem. Jest jednak bardzo czasochłonna, a otrzymywane wyniki nadal nie są zgodne z teoretycznymi wartościami [9].

Ze względu na duże rozbieżności w pomiarach producent urządzenia rozpoczął wdrażanie w oprogramowaniu algorytmu opartego na teorii chaosu. Według ostatnich informacji nowe algorytmy przynoszą pożądane rezultaty, a wyniki otrzymywane w kolejnych badaniach laboratoryjnych stwarzają nadzieję na uzyskanie w pełni funkcjonalnej metody pomiarowej [14].

## 7. Porównanie metod pomiarowych

W tabeli poniżej zostały zebrane wady oraz zalety każdej z metod. Przedstawiono również opartą na wynikach zawartych w literaturze dokładność pomiarów. Zestawienie umożliwia ocenę oraz pozwala na wybranie najlepszej z prezentowanych metod.

TABELA 1

Porównanie metod pomiarowych

Metoda	Zalety	Wady	Dokładność pomiarów
Obserwacja miejsc podatnych na pękanie	<ul style="list-style-type: none"> <li>— niski koszt prowadzenia pomiarów</li> <li>— prosty sposób prowadzenia pomiarów</li> <li>— wieloletnie doświadczenie PLK w prowadzeniu pomiarów</li> <li>— brak konieczności montażu urządzeń obcych w obrębie linii kolejowej</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— znaczna niedokładność pomiarów</li> <li>— czas realizacji pomiarów</li> <li>— konieczność dopasowania pomiarów do rozkładu jazdy pociągów</li> <li>— w przypadku utraty archiwalnych danych jest problem z opracowaniem wyników</li> </ul>	Wyniki opracowane na podstawie pomiarów wskazały wartość przyrostu naprężeń nawet 1,9 MPa/°C przy wartości teoretycznej 2,5 MPa/°C

cd. tab. 1

Pomiar odkształceń podłużnych toru	<ul style="list-style-type: none"> <li>— precyzyjne wskazanie siły podłużnej</li> <li>— w przypadku pomiarów od wbudowania toru można otrzymać wartości bezwzględne siły</li> <li>— możliwość bezpośredniego zapisu na PC</li> <li>— bezpieczeństwo dokonywania pomiarów</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— brak możliwości uwzględnienia temperatury przytwierdzenia szyny do podkładu</li> <li>— konieczność montażu baz pomiarowych do szyn</li> <li>— w przypadku uszkodzenia bazy pomiarowej następuje całkowita utrata wyników</li> </ul>	Dokładność pomiaru bazy pomiarowej wynosi 0,001 mm. Dokładność wyników pomiaru siły podłużnej to 5 kN
Ultradźwiękowy pomiar naprężeń	<ul style="list-style-type: none"> <li>— szybkość pomiaru</li> <li>— możliwość wykrycia uszkodzeń wewnątrz szyny</li> <li>— możliwość pomiaru naprężeń własnych szyny</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— konieczność kalibracji dla każdego typu materiału</li> <li>— brak możliwości pomiarów bez ustalenia naprężeń w szynie przed wbudowaniem w tor</li> <li>— bardzo częste uszkodzenia czujnika (odklejanie się od szyny podczas przejazdu pociągu)</li> </ul>	W zależności od miejsca pomiarów zróżnicowanie wyników przekracza $\pm 0,5 \text{ MPa}/^\circ\text{C}$
Pomiar przemieszczeń pionowych szyny	<ul style="list-style-type: none"> <li>— pomiary nieniszczące</li> <li>— wieloletnie doświadczenie potwierdza skuteczność w diagnostyce toru bezstykowego</li> <li>— system dostosowany jest do wszystkich typów szyn</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— konieczność wyłączenia toru z eksploatacji na czas pomiarów</li> <li>— znaczny koszt montażu i demontażu przytwierdzeń na odcinku pomiaru</li> </ul>	Dokładność pomiaru temperatury neutralnej wynosi $\pm 0,2^\circ\text{C}$ .
Pomiar domen ferromagnetycznych	<ul style="list-style-type: none"> <li>— nieinwazyjność metody</li> <li>— bezpośredni odczyt wyników podczas pomiarów</li> <li>— ciągłość pomiarów na szlaku</li> <li>— wyniki nie są zależne od warunków atmosferycznych</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— wynik uzależniony od naprężeń własnych materiału</li> <li>— konieczność kalibracji z próbką szyny niewbudowaną w tor</li> </ul>	Brak oficjalnych danych. Producent deklaruje dokładność pomiaru temperatury neutralnej z dokładnością do $3^\circ\text{C}$ .

## 8. Podsumowanie

W artykule przedstawiono pięć najbardziej rozpowszechnionych metod pomiarowych zapobiegania wyboczeniu toru bezстыkowego. Wskazano genezę powstania metod, omówiono zasady działania każdej z nich. Artykuł zawiera również opis problemów, jakie pojawiały się podczas wdrażania metod. Omówiono zarówno najpopularniejszą w Polsce metodę obserwacji punktów stałych, jak i popularne w innych krajach metody bardziej zaawansowane technologicznie. Ostatnia z opisanych metod, wdrażana w kolejach węgierskich, jest najbardziej skomplikowana pod względem zasady działania. Jednak pomiary tą metodą przeprowadza się w najprostszym sposobie. Załączone ilustracje pokazują pomiary prowadzone poszczególnymi metodami w eksploatowanym torze, co umożliwia wizualizację ogólnej zasady działania. Przedstawione zestawienie metod wskazuje zarówno wady, jak i zalety każdej z nich. Po analizie zestawienia wskazać można metodę pomiaru domen ferromagnetycznych jako oczekiwaną do prowadzenia diagnostyki toru w przyszłości. Nie ingeruje ona w żaden sposób w układ toru, a szybkość i prostota działania umożliwiają pomiary przez pracowników zarządcy infrastruktury, bez konieczności zlecenia pomiarów firmom zewnętrznym. Z tych powodów to właśnie tę metodę autor wskazuje jako najbardziej rozwojową spośród omówionych.

Źródło finansowania pracy — środki własne autora.

Artykuł wpłynął do redakcji 25.11.2019 r. Zatwierdzono do publikacji 9.01.2020 r.

Dominik Pokropski <https://orcid.org/0000-0001-5558-8946>

### LITERATURA

- [1] ADAMSKI M., TOWPIK K., *Badania rozkładów naprężeń w iglicach rozjazdowych*, Politechnika Poznańska, Poznań, 1995.
- [2] BARKHAUSEN H.G., *Zwei mit Hilfe der neuen Verstaerker entdeckte Erscheinungen*, Zurych, 1919.
- [3] BROKOWSKI A., DEPUTAT J., *Ultrasonic measurements of residual stress in rails*, 11<sup>th</sup> World Conference in Nondestructive Testing, Las Vegas, 1985.
- [4] BEKE D.L., POSGAY G., KIS-VARGA M., SZABO S., *Determination of stress distribution in railway rail*, Berlin Neutron Scattering Center Experimental Reports, 1996.
- [5] BRZOWSKI A., KOC W., *Rzeczywisty charakter pracy toru bezстыkowego*, Przegląd Kolejowy Drogowy, Warszawa, 1975.
- [6] DEPUTAT J., *Własności i wykorzystanie zjawiska elastoakustycznego do pomiarów naprężeń własnych*, Prace IPPT-PAN, Warszawa, 1987.
- [7] DEPUTAT J., SZELAZEK J., ADAMSKI M., *Experiences in Ultrasonic Measurement of Rail residual Stresses*, [w:] *Residual Stress in Rails*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 1992.

- [8] JAMKA M., CHEŁMECKI W., BOGDANIUK B., *Sposób i urządzenie do pomiaru siły podłużnej powstającej w stalowych kształtownikach ustrojów nośnych, zwłaszcza w szynach kolejowych*, Patent PL 166733. 1995.
- [9] KOOB M.J., *The development of a vibration technique for estimation of neutral temperature in continuously welded railroad rail*, University of Illinois at Urbana-Champaign, Champaign, Illinois, 2005.
- [10] KOC W., WILK A., CHROSTOWSKI P., GRULKOWSKI S., *Określanie wartości sił podłużnych w szynach toru bezстыkowego*, Problemy Kolejnictwa, Instytut Kolejnictwa, Gdańsk, 2014.
- [11] KRZYŹYŃSKI M., *Pomiar naprężeń w torze bezстыkowym*, Przegląd Kolejowy Drogowy, Warszawa, 1973.
- [12] POSGAY G., MOLNAR P., *Investigations using magnetic Barkhausen noise measurement*, Budapeszt, 1997.
- [13] TOWPIK K., *Możliwości oceny naprężeń w szynach toru bezстыkowego, materiały z konferencji naukowej „Pojazdy szynowe”*, Technika Transportu Szybowego, Warszawa, nr 12, 2009.
- [14] TSUCHIDA Y., ENOKINOZO M., *Stress evaluation by chaotic characteristics of Barkhausen noise*, Review of Quantitative Nondestructive Evaluation, 22, 2003.
- [15] *Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych ID-1*. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Warszawa, 2005.
- [16] ZAREMSKI A.M., MCCONNELL D.P., LOVELLAACE W.S., *New car for measurement and evaluation of gage-widening resistance of track*, Biuletyn AREA, nr 680, 1980.
- [17] [www.vortok.com](http://www.vortok.com). [dostęp: 12.10.2019].
- [18] [www.goldschmidt-thermit.com](http://www.goldschmidt-thermit.com). [dostęp: 10.09.2019].

## D. POKROPSKI

### Methods used to prevent loss of contactless track stability

**Abstract.** The article is about the issue of maintaining a contactless track. Due to the forces occurring in the track, arising from both temperature changes and from rolling stock rolling on the track, it is necessary to monitor a displacement of rail tracks and stress in rails. The article presents a summary of the methods for monitoring the contactless track condition. The comparison of the methods was also presented, showing the pros and cons of each of them.

**Keywords:** contactless track, contactless track buckling, track stress

**DOI:** 10.5604/01.3001.0014.2783