

## METODA WŁASNEGO ROZPROSZONEGO POLA MAGNETYCZNEGO DO BADANIA SZYN KOLEJOWYCH

### Streszczenie

W pracy przedstawiono metodę wykrywania uszkodzeń szyn kolejowych za pomocą Metody Własnego Rozproszonego Pola Magnetycznego (MWRPM). Wyznaczono składowe normalne i styczne WRPM oraz ich gradient wzdłuż długości szyny. Metoda umożliwia w szybki i nieinwazyjny sposób identyfikować uszkodzenia szyn kolejowych. Zbudowano specjalną bazę danych magnetogramów uszkodzeń zarejestrowanych na wybranym odcinku szyny kolejowej w zależności od czasu jej eksploatacji.

### WSTĘP

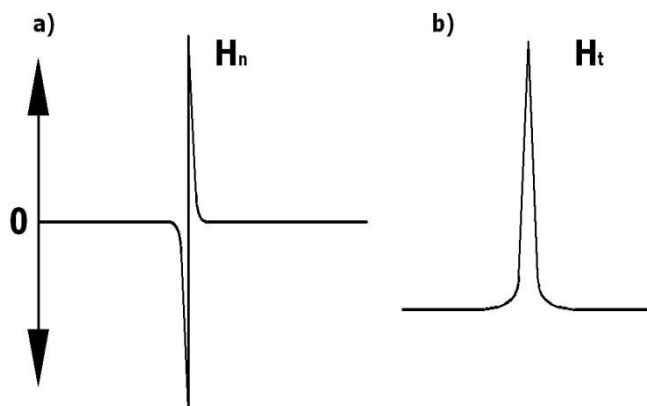
Metoda WRPM umożliwia lokalizację pęknięć, mikropęknięć, wad, uszkodzeń oraz niebezpiecznych miejsc, w których występują strefy koncentracji naprężeń. Opiera się ona w głównej mierze na efekcie magnetosprężystym. Zjawisko magnetosprężyste, zwane inaczej efektem Villiiego zostało odkryte w 1865 roku i polega na zmianie stopnia namagnesowania danego elementu w wyniku jego obciążania. Jeżeli materiał ferromagnetyczny znajdzie się w słabym zewnętrznym polu magnetycznym, to pod wpływem naprężenia zmieni się jego namagnesowanie. Wynika stąd, że występujące w jakimkolwiek miejscu konstrukcji ferromagnetycznej znajdującej się w polu magnetycznym Ziemi naprężenie cykliczne zmienne  $\Delta\sigma$  spowoduje miejscowy wzrost indukcji szczątkowej. Zjawisko to jest zjawiskiem odwrotnym do zjawiska **magnetostrykcji**. Pod wpływem naprężeń zmienia się stopień namagnesowania, przy czym zdecydowanie większy przyrost indukcji uzyskuje przy pierwszym cyklu obciążeniowym niż przy drugim był on mniejszy. W ogólnym przypadku stopień namagnesowania zależy od temperatury, rodzaju materiału, natężenia pola zewnętrznego, historii magnesowania oraz odkształcenia. Skale zjawiska magnetosprężystego opisuje tzw. współczynnik czułości zjawiska magnetosprężystego –  $\lambda$ . Współczynnik ten wyraża się jako stosunek zmiany indukcji magnetycznej do przyrostu naprężenia, które tą zmianę wywołało (wzór 1). Współczynnik  $\lambda$  określany jest przy ustalonych wartościach natężenia pola magnetycznego –  $H$  i temperatury –  $T$ , ponadto przy podawaniu wartości  $\lambda$  należy określić zakres odkształceń, w którym taka czułość występuje. Wynika to z faktu, iż zjawisko magnetosprężyste zależy od warunków zewnętrznych ( $H, T$ ) i stanu naprężeń w elemencie. Współczynnik czułości zjawiska magnetosprężystego wyraża się wzorem:

$$\lambda = \left( \frac{\Delta B}{\Delta \sigma} \right)_{H,T} \quad (1)$$

gdzie:  $\Delta B$ - przyrost indukcji,  
 $\Delta\sigma$ - przyrost naprężeń.

W wyniku naprężeń od obciążeń użytkowych i niedoskonałości procesów krystalizacji w strukturze nowopowstałego elementu tworzą się wady. W ten sposób formuje się siatka krystalograficzna i odpowiednia do niej struktura magnetyczna materiału, która koduje w sobie informacje o defektach i naprężeniach. W defektach utwo-

rzonych siatki (w miejscach skupisk dyslokacji) powstają punkty zaczepienia granic domen, które powodują powstanie linii wzdłuż, której składowa normalna WMPR jest równa zero ( $H_n=0$ ) natomiast składowa styczna osiąga lokalne ekstremum. W licznych wcześniejszych badaniach wykazano, że powstałe w ten sposób, naturalne namagnesowanie materiału, odzwierciedla strukturalną i technologiczną dziedziczość, a linia  $H_n=0$  pokrywa się z linią koncentracji naprężeń. WMPR powstałe nad wadą ma podobny rozkład do pola magnetycznego magnesu sztabkowego. Nad krawędziami pęknięcia składowa normalna osiąga wartości maksymalne i przechodzi przez zero na środku wady. Składowa styczna osiąga maksimum nad środkiem wady (Rys.1). Przeciwnie krawędzie pęknięcia zachowują się jak bieguny, w wyniku czego powstaje mały magnes o szerokości szczeliny (pęknięcia). W wyniku działania naprężenia na materiał, w którym znajduje się wada zwiększa się poziom namagnesowania tego elementu i tym samym rośnie natężenie pola rozproszonego przez wadę.



Rys. 1. Modelowy rozkład składowych WMPR nad wadą: składowa normalna  $H_n$ ; b) składowa styczna  $H_t$  [1]

Powstanie rozproszonego pola magnetycznego jest konsekwencją pojawienia się składowej indukcji prostopadłej do powierzchni badanego elementu. Składowa ta powstaje z powodu natrafienia przez strumień indukcji wewnątrz elementu na obszar o odmiennej przenikalności magnetycznej. Współczynnik czułości zjawiska magnetosprężystego można przekształcić następujący sposób:

$$\lambda = \left( \frac{\Delta B}{\Delta \sigma} \right)_{H,T} \rightarrow \Delta B = \lambda \cdot \Delta \sigma \quad (2)$$

Ze wzoru (2) wynika, że składowa normalna WMPR  $H_n$  jest wprost proporcjonalna do zmiany naprężenia  $\Delta\sigma$  i zależy od czułości efektu magnetosprężystego badanego elementu. Ścisła zależność między składową  $H_n$ , a naprężeniami  $\sigma$  lub odkształceniem  $\varepsilon$  zależy od wielu czynników: natężenia pola magnesującego, rodzaju materiału, temperatury, a także rodzaju odkształcenia. Zaprezentowana w pracy metoda diagnostyczna oparta została na wykorzystaniu własnego rozproszonego magnetycznego pola (WRMP) wywołanego działaniem obciążenia roboczych oraz na postrzeganiu własnych magnetycznych pól rozproszenia (WMPR) powstających w obszarach koncentracji naprężeń (SKN). Poprzez wzajemne oddziaływanie własnego pola magnetycznego elementu i magnetycznego pola Ziemi w obszarze koncentracji naprężeń na powierzchni kontrolowanego obiektu powstaje gradient magnetycznego pola rozproszenia. Ustalono związek między składową normalną i styczną magnetycznego pola rozproszenia  $H_p$  a obszarem koncentracji lub anizotropii naprężeń mechanicznych. Przy sztucznym namagnesowaniu konstrukcji nie można uzyskać takiej informacji jak w przypadku własnego pola magnetycznego. Nie można prognozować a priori miejsc niebezpiecznych. W pracy przedstawiono implementację metody WMPR do wykrywania, identyfikacji uszkodzeń szyn kolejowych.

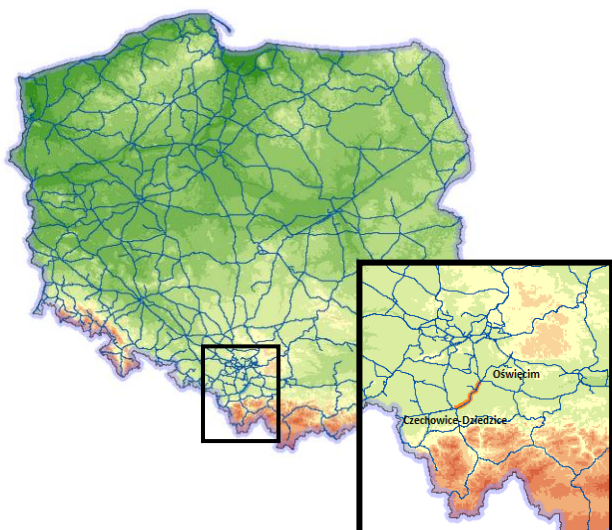
## OBIEKT BADAŃ

### Miejsce badań

Badania wykonano w miejscowości Jawiszowice, na odcinku torów Czechowice-Dziedzice – Oświęcim. Parametry linii kolejowej to:

Nazwa Linii: Trzebinia – Zbrydowice  
 Nazwa Odcinka: Oświęcim OWA – Czechowice  
 Nr linii: 93  
 Kod linii: D,  
 Długość: 21,984 km  
 Rozstaw szyn: 14,35 mm

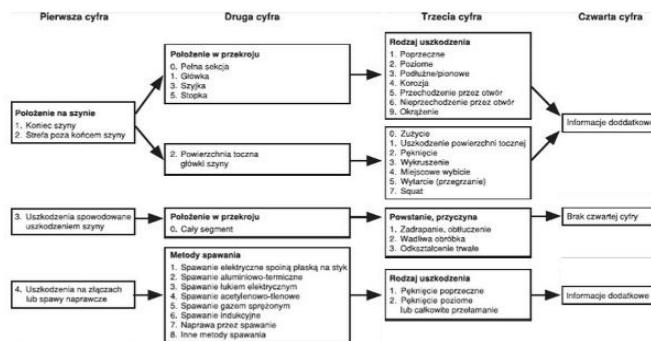
Lokalizacja badanego odcinka linii kolejowej przedstawiono na rys.2.



Rys. 2. Lokalizacja odcinka prowadzonych badań na terenie Polski. Źródło: <<http://mapa.plk-sa.pl/>>

Badania polegały na skanowaniu powierzchni głowki szyny głowicą z dwoma sensorami. Wyznaczono składową normalną i styczną magnetycznego pola rozproszenia ( $H_p$ ). Obszary koncentracji naprężeń można określić na podstawie ekstremalnych zmian pola  $H_p$  natomiast pęknięcia na podstawie miejsc w których wartość składowej normalnej pola  $H_p=0$ . Wyniki badań zapisywane

są w pamięci przyrządu a następnie poddawane obróbce za pomocą programu komputerowego MMM-System-30. Pierwsze badania zostały wykonane w kwietniu 2015 r. Dalsze badania powtarzano, co miesiąc aż do sierpnia. W na przełomie lipca i sierpnia badania wykonywano kilkakrotnie, średnio dwa razy w tygodniu. Na 500-metrowym odcinku Czechowice-Oświęcim zidentyfikowano sześć uszkodzeń, z czego jedno na szynach w kierunku Oświęcimia, a kolejne w kierunku Czechowic. Wady zidentyfikowano na podstawie schematu przedstawionego na rys.3



Rys. 3. Klasyfikacji uszkodzeń szyn. Źródło: <<https://pl.scribd.com>>

Pomiary wykonano magnetycznym testerem typ IKN-1M-4 rys.4. Przyrząd ten składa się z urządzenia głównego z blokiem pamięci oraz wyświetlaczem dającym informację graficzną oraz elementu skanującego wyposażonego w głowicę czterokanałową. Umożliwia ona pomiar 8 składowych rozproszonego własnego pola magnetycznego stanowiącego obraz magnetyczny dla każdej wady szyny przy jej pomiarze. Wynika to z faktu, że na każdy z czujników działają dwie składowe: normalna (pionowa) i styczną (pozioma).

Pomiary wykonano magnetycznym testerem typ IKN-1M-4 rys.4. Przyrząd ten składa się z urządzenia głównego z blokiem pamięci oraz wyświetlaczem dającym informację graficzną oraz elementu skanującego wyposażonego w głowicę czterokanałową. Umożliwia ona pomiar 8 składowych rozproszonego własnego pola magnetycznego stanowiącego obraz magnetyczny dla każdej wady szyny przy jej pomiarze. Wynika to z faktu, że na każdy z czujników działają dwie składowe: normalna (pionowa) i styczną (pozioma).



Rys.4. Przyrząd IKN-1M-4. Źródło: Zdjęcie własne

Przedmiotem badań były zidentyfikowane w wyniku skanowania szyny tak zwane buksowiny lub wybuxowania szyny. Mechanizm uszkodzenia głowki szyny w postaci miejscowego wytarcia

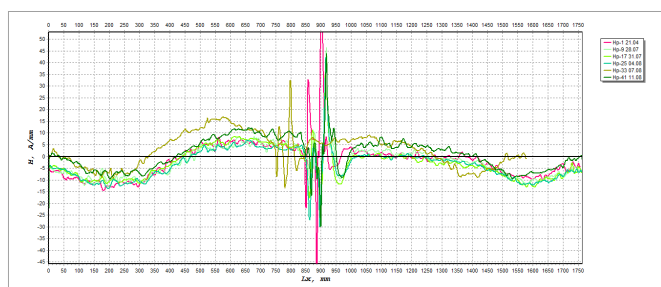
polega na obracaniu się koła stojącej lokomotywy bądź ruszającej wskutek generowanej wysokiej temperatury (znaczny nacisk miejscowy – przekroczone dopuszczalne naprężenia dociskowe). Jest to połączone często ze zmianą struktury stali co w krytycznej sytuacji może prowadzić do pęknięcia szyny. Usuwanie tych uszkodzeń w praktyce polega na miejscowym wyszlifowaniu główki szyny w celu zdjęcia warstwy odwęglonej a w dalszym etapie naniesienie nowej warstwy poprzez napawanie. Dalszym analizom poddano wykoksowanie 125 zlokalizowane na linii kolejowej w kierunku Czechowice-Dziedzice o określonych współrzędne: 49°96'20,98 N; 19°12'58,25 E przedstawione na rysunku 5.



Rys.5. Wada w postaci buksownicy na linii kolejowej Oświęcim – Czechowice Dziedzice . Źródło: Zdjęcia własne

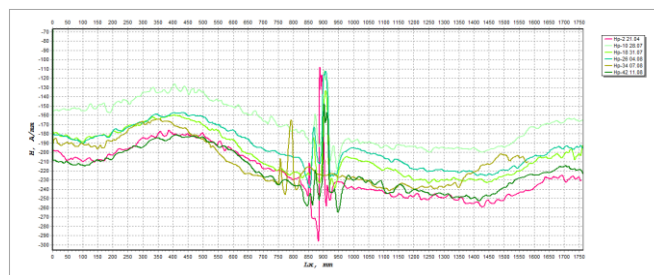
### Wyniki badań

Badania rozpoczynały się od procesu kalibracji sprzętu w polu magnetycznym Ziemi - w miejscu wykonywania badań wynosiło ono 40 A/m. Przykładowe wyniki skanowania powierzchni główki szyny przedstawiono na rysunkach 6 i 7. Częstotliwość skanowania wynosiła co 1 mm na długości 2000mm czyli wykonano 2000 próbkowań. Badania prowadzono w okresie od kwietnia do sierpnia 2015 roku. Przedstawiono zbiorcze zestawienia pomiarów w tym okresie czasu. Dla składowej stycznej WRPM pomiędzy wynikami występującej różnica resztkowego natężenia pola magnetycznego ok. 15 A/m.



Rys. 6. Zmiany składowej stycznej nad analizowaną wadą

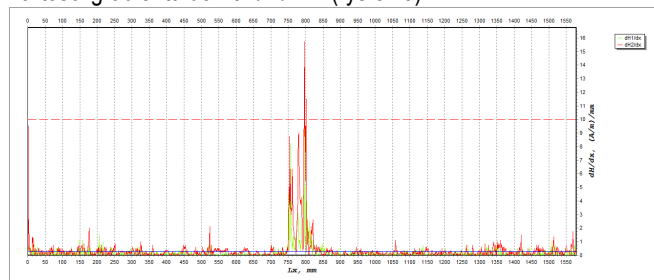
Natomiast dla składowej normalnej zaobserwowano zmianę wartości różnicy resztkowego natężenia pola magnetycznego wyszłą ok. 60A/m rys.7.



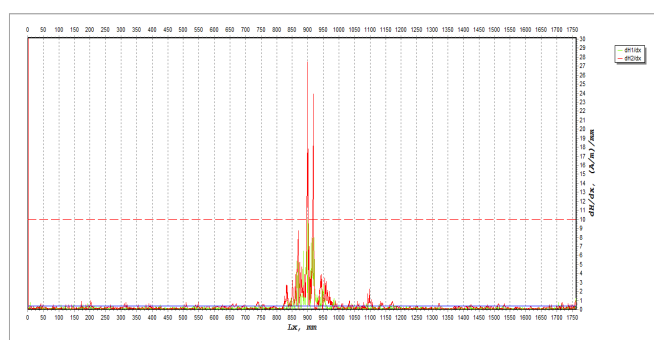
Rys. 7. Zmiany składowej normalnej nad analizowaną wadą

### Analiza gradientów składowej stycznej i normalnej WRPM

W analizie rozkładów poszczególnych składowych WRPM bardzo przydatna jest analiza gradientów tych składowych w kierunku drogi pomiarowej (Hp1, Hp3, Hp5, Hp7). Zmiana wartości składowej większa od granicznej literaturowej wartości 10 A/m/mm wskazuje na występowanie w tym miejscu wady. Potwierdzają to wykresy gradientu zarówno składowej normalnej i stycznej. Pomiar gradientów tych składowych w dniu 7.08.2015 osiągały wartość 16 A/m/mm a 4 dni później na skutek intensywnego ruchu pociągów towarowych i częstego w tych dniach zjawiska buksowania wykazują wzrost wartości gradientu do 28A/m/mm (rys.8 i 9).



Rys. 8. Analiza rozkładu gradientu składowej stycznej i normalnej w dniu 07.08.2015r



Rys. 9. Analiza rozkładu gradientu składowej stycznej i normalnej w dniu 11.08.2015r

### PODSUMOWANIE

Metoda Własnego Rozproszonego Pola Magnetycznego pozwala na wykrycie stref koncentracji naprężeń oraz obszarów neutralnych w postaci wad szyn kolejowych. Jest cennym uzupełnieniem innych metod badania szyn kolejowych. Odnacza się ona szybkością i skutecznością pomiaru. Do dalszych zalet tej metody należy wymienić również możliwość identyfikacji obszarów koncentracji naprężenia jeszcze przed powstaniem pierwszych mikropęknięć. Daje to możliwość podjęcia odpowiednich działań naprawczych i zapobiegawczych w dłuższym okresie czasu (możliwość planowania remontów).

Modernizując infrastrukturę kolejową powinno się również pamiętać nie tylko o udogodnieniach związanych z wprowadzaniem coraz szybszych pociągów na liniach magistralnych, ale też o poprawieniu standardu linii znaczenia miejscowego.

### BIBLIOGRAFIA

1. Błata J., Juraszek J., *Metody diagnostyki technicznej teoria i praktyka*. Monografia Wyd. VSB Ostrawa 2013 r.
2. Juraszek J., *Innowacyjne, nieniszczące metody badań diagnostycznych*. Monografia. Wyd. ATH 2013 r
3. Grulkowski S., Zaryczny J., *Analiza czynników wpływających na powstawanie wybranych wad w szynach kolejowych*
4. Juraszek J., Grzywa A., Kawka A., *Praktyczne przykłady zastosowania metody magnetycznej pamięci metalu (MMPM)*. Wyd. ATH 2011 r
5. Juraszek J., Grzywa A., *Badania nieniszczące bieżni wewnętrznej łożysk tocznych metodą magnetycznej pamięci metalu*. Wyd. ATH 2013
6. Hatlas P., Juraszek J., Krupa K., *Badanie zmęczeniowe modelu wału za pomocą metody magnetycznej pamięci metalu* Wyd. Lędziny 2008 r.

## RESIDUAL MAGNETIC FIELD METHOD (RFM) OF RAILWAY TRACK INSPECTION

### *Abstract*

*This paper discussed the evaluation of the railway track state based on the residual magnetic field method measured on the railway track surface. It includes selected problems of the basic of residual magnetism if known, make easier to understand the present issues.*

Autor:

prof. dr hab. inż. **Janusz Juraszek** – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej – Instytut Budownictwa, e-mail: [jjuraszek@ath.bielsko.pl](mailto:jjuraszek@ath.bielsko.pl)