

Marek SITARZ, Zbigniew ŻUREK

## DIAGNOSTYKA OBRĘCZY ZESTAWÓW KOŁOWYCH Z WYKORZYSTANIEM POLA MAGNETYCZNEGO

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wymagania dotyczące diagnostycznych badań obręczy kół kolejowych metodami nieniszczącymi, takimi jak: ultradźwiękowe i rentgenograficzne. Następnie opisano podstawy teoretyczne badań z wykorzystaniem pola magnetycznego. Przedstawiono przeprowadzone badania eksperymentalne z dziedziny diagnostyki technicznej i materiałowej oraz projekt przetwornika magnetycznego do diagnostyki obręczy.

## RAILWAY WHEEL BANDS DIAGNOSTIC WITH USE OF MAGNETIC FIELD

**Summary.** In this paper are shown requirements relating to diagnostic investigations of railway wheel bands using undamaging methods as ultrasonic or rentgenographic methods. Then, there are described theoretical basis of investigations with use of magnetic field. Managed experimental investigations from technical and material diagnostics are shown with design of magnetic transformer to diagnose of railway wheel bands.

### 1. WSTĘP

Transport kolejowy odgrywa we współczesnym świecie bardzo ważną rolę. Stwarza możliwości przemieszczania się dużej ilości towarów i ludzi przy znikomym zanieczyszczeniu środowiska naturalnego. Dążąc do utrzymania znaczącej pozycji wśród innych środków transportu, konstruktorzy taboru kolejowego ciągle udoskonalają poszczególne podzespoły wykorzystujące nowe osiągnięcia technologiczne, a w szczególności nowe materiały konstrukcyjne.

Bardzo istotnym podzespołem każdej jednostki szynowej jest zestaw kołowy.

Pomimo zastosowania znakomitych osiągnięć tak przy konstruowaniu koła, obręczy, osi czy całego zestawu, jak i zastosowania nowych materiałów oraz profilów szyn i kół, w wyniku współpracy koła z szyną pojawiają się w procesie eksploatacji uszkodzenia zestawów kołowych, szczególnie w miejscach kontaktu kół z szynami, tj. powierzchni tocnych i obręczy.

Względy bezpieczeństwa i potrzeba przedłużenia okresu użytkowania, kół i obręczy kolejowych nakazują więc badanie diagnostyczne tych elementów przed, jak również w czasie ich eksploatacji.

Zakres badań i kryteria klasyfikacji obręczy kolejowych zostały opracowane przez ośrodki naukowo – techniczne w Polsce jak również przez Komitet ORE.

Podstawowe wymagania badań diagnostycznych obręczy – metodami ultradźwiękową, magnetyczną czy prądów wirowych – są następujące:

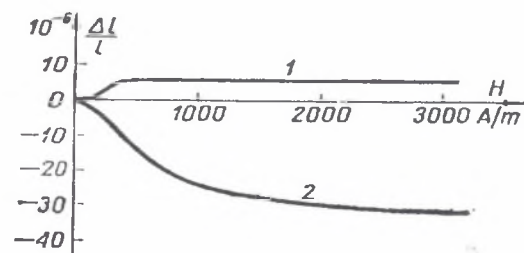
- kontrola powinna obejmować możliwie jak największą objętość materiału;
- echa od wad wzorcowych powinny być na tym samym poziomie, niezależnie od ich głębokości;
- badania powinny być prowadzone w dwóch kierunkach – osiowym i promieniowym;
- badania powinny wykrywać wady niedopuszczalne i „dopuszczalne”.

Dotychczas w Polsce najbardziej rozpowszechnioną metodą badań obręczy kół kolejowych jest metoda ultradźwiękowa. Jednak powszechność stosowania metody magnetycznej w przemyśle maszynowym na świecie zainspirowała autorów do przeprowadzenia badań teoretycznych i eksperymentalnych dotyczących wykorzystania tej metody w badaniach diagnostycznych obręczy kół kolejowych.

## 2. POLE MAGNETYCZNE JAKO NARZĘDZIE POMIAROWE W DIAGNOSTYCE TECHNICZNEJ I MATERIAŁOWEJ

Metody ultrasonograficzne i rentgenograficzne posiadają podstawowe znaczenie w diagnostyce materiałowej wad i uszkodzeń. Istnieją jednak rozpoznane efekty magnetyczne i prawa związane z polem magnetycznym, dzięki którym możliwe jest uzupełnienie istniejących metod pomiarami z wykorzystaniem zjawisk pola magnetycznego. W prowadzeniu takich pomiarów potrzebne są przetworniki pomiarowe pola magnetycznego o czułościach wyższych od przetworników hallotronowych i generacyjnych, mierzące natężenie pola magnetycznego  $H$ , a nie tylko pochodną natężenia pola magnetycznego względem czasu ( $dH/dt$ ). Nowe technologie i rozwiązania naukowe w mikroelektronice umożliwiły wprowadzenie na rynek cienkowarstwowych mostkowych przetworników magnetorezystancyjnych, umożliwiających pomiar w szerokim zakresie częstotliwości z czułością poniżej  $50 \mu T$ . Przetworniki magnetorezystancyjne w przeciwieństwie do hallotronowych posiadają budowę, która umożliwia pomiar pola magnetycznego stycznego do powierzchni warstwy przetwornika [4]. Szeroki wachlarz zalet, jakimi dysponują przetworniki magnetorezystancyjne oraz ich dostępność skłoniły do przeprowadzenia serii wstępnych badań z zakresu diagnostyki materiałowej i technicznej.

### 2.1. Podstawy fizyczne zagadnienia



Rys. 1. Efekt magnetostrykcji: 1 – dla żelaza; 2 – dla niklu

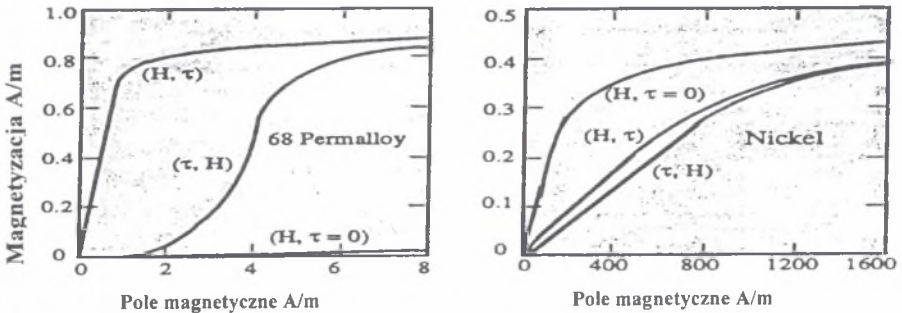
Fig. 1. Magnetostriction effect: 1 – for iron, 2 – for nickel

Pierwszym z odkrytych efektów magnetycznych był efekt typu Joule’a. Polegał on na zmianie długości ferromagnetyków umieszczonych w przemiennym polu magnetycznym. Zmiana długości wywołana magnetostrykcją (efekt Joule’a) może przyjmować wartości dodatnie lub ujemne. W badaniach, które często prowadzono dla żelaza i niklu [5], stwierdzano liniowość zmian długości od zmian natężenia pola dla niewielkich jego przyrostów, jak na

rys. 1. Z innych badań [5] wynika, że efekt magnetostrykcji osiąga swą maksymalną wartość przed nasyceniem namagnesowania. W zależności od materiału występuje on w granicach 70 - 80% nasycenia.

Efekt odkryty przez Joule'a w 1842 roku jest efektem odwracalnym, co zostało potwierdzone odkryciem w roku 1865, znanym od nazwiska autora jako efekt Villariego. Efekt ten polega na zmianie magnetyzacji materiałów magnetycznych pod wpływem naprężeń zewnętrznych. Wpływ naprężeń na krzywą magnetyzacji jest wyraźny, zależy jednak od znaków współczynników magnetostrykcji i kierunku naprężeń. Efekt ten dokładnie opracował R.M. Bozorth w pracy pod tytułem „Ferromagnetyzm” z 1951 roku. Stwierdził: „ naprężenia wraz z temperaturą są jednym z głównych czynników wpływających na zmiany magnetyzmu”.

W materiałach z dodatnim współczynnikiem magnetostrykcji magnetyzacja zwiększa się przy rozciąganiu, a zmniejsza przy ściskaniu. W materiałach z ujemną magnetostrycją występuje zjawisko odwrotne. Typowym przykładem materiału o dodatnim współczynniku magnetostrykcji jest żelazo, z ujemnym współczynnikiem- nikiel. Bardzo dobrym przykładem są krzywe magnetyzacji zamieszczone na rys. 2. Przedstawiają one zmiany magnetyzacji materiałów o magnetostrykcji pozytywnej i negatywnej dla różnych stanów naprężeń i sposobów zasilania strumieniem magnetycznym (przed zadaniem lub po zadaniu naprężenia  $\tau$ ) [6].



Rys. 2. Krzywe magnetyzacji stopu NiFe(68%:32%) oraz czystego niklu- Ni w funkcji natężenia pola. Kolejność symboli w oznaczeniach: (H,  $\tau$ ); ( $\tau$ , H); (H,  $\tau=0$ ) dotyczą pierwszeństwa zadziałania czynnika. Dla stopu NiFe  $\tau=40$ MPa, dla Ni  $\tau=1$ MPa [6]

Fig. 2. Magnetization curves for alloy NiFe (68%, 32%) and pure nickel vs. magnetic field. Order of marks (H,  $\tau$ ); ( $\tau$ , H); (H,  $\tau=0$ ) shows priority of factors. For alloy: NiFe  $\tau=40$ MPa, dla Ni  $\tau=1$ MPa [6]

Odkrycie efektu przez Villariego było początkiem późniejszej diagnostyki stanów naprężeń i odkształceń polegającej na pomiarze zmian pola magnetycznego w wyniku zmiany naprężeń. Efekty te w chwili obecnej umożliwiają pomiary [4]:

- drgań i przyspieszeń ,
- odkształceń sprężystych ,
- ciśnienia, przyspieszenia i momentu,
- jednorodności materiałów .

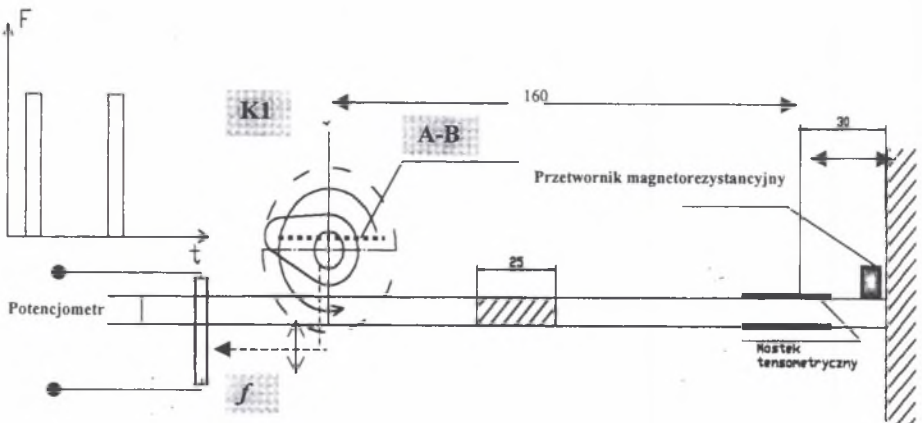
Pozostałe właściwości pola magnetycznego związane ze zmianą biegu linii sił pola magnetycznego na granicy środowisk (ferromagnetyk - powietrze, materiały o różnej przenikalności magnetycznej) są wykorzystywane w pomiarach [4]:

- kształtu, przesunięć liniowych i kątowych,
- detekcji położenia zerowego,
- właściwości kierunkowych blach transformatorowych.

### 3. PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ

#### 3.1. Pomiary drgań, naprężeń i odkształceń belki utwardzonej jednym końcem

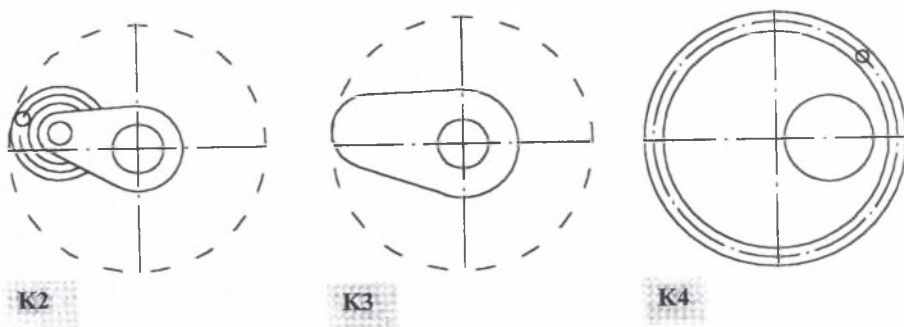
Zorganizowany cykl badań miał na celu pomiar pola magnetycznego wokół próbki stalowej obciążanej sprężycie z zastosowaniem magnetorezystancyjnych przetworników pomiarowych [7,8]. Porównanie otrzymanych wyników z równoległe prowadzonymi pomiarami tensometrycznymi i pomiarami strzałki ugięcia miało potwierdzić zasadność metody. Badania prowadzono na stanowisku pomiarowym, na którym obciążano płaskownik ze stali ST5 obracającą się krzywką z częstotliwością ok. 3Hz. Siła pochodząca od naporu krzywki przemieszczała się po powierzchni płaskownika na drodze  $A - B$ , uginając go o strzałkę  $f$  jak na rys. 3. Do pomiarów strzałki ugięcia użyto przetwornika parametrycznego potencjometrycznego, mostkowy przetwornik tensometryczny do pomiaru wydłużeń i mostkowy przetwornik magnetorezystancyjny KMZ do pomiaru natężenia pola magnetycznego.



Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego z rozmieszczonymi przetwornikami pomiarowym [8]

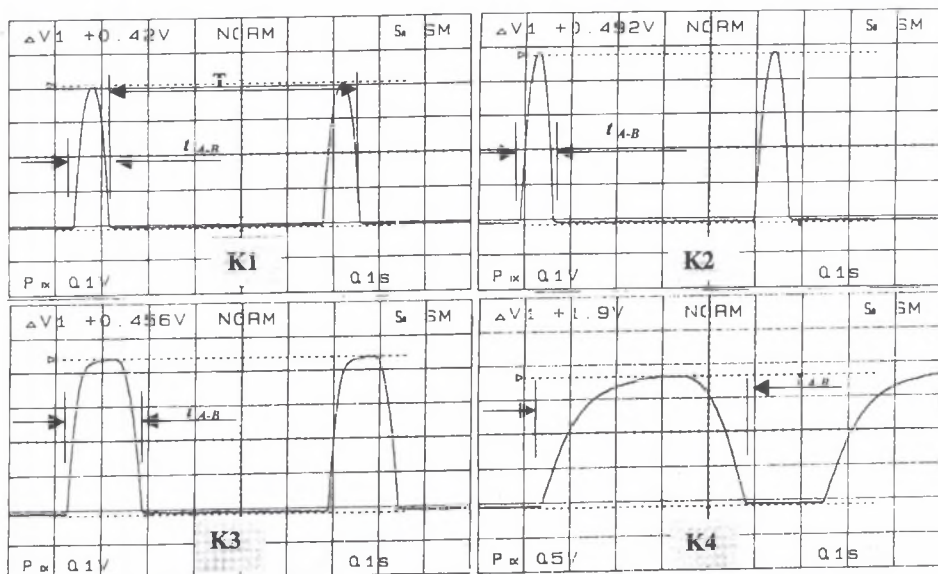
Fig. 3. Scheme of measuring post with distributed measuring transformers [8]

W celu poszerzenia zakresu badań o zmienne amplitudy i czasy ugięcia, pomiary wykonano z użyciem czterech krzywek (**K1** – **K4**) o różnym kształcie i wysokości. Na rys. 4 przedstawiono kształty pozostałych krzywek.



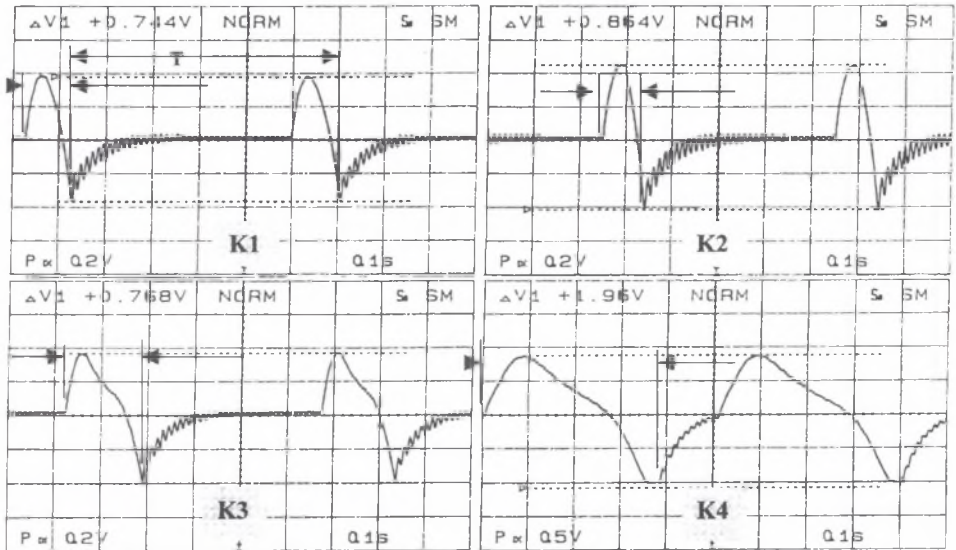
Rys. 4. Kształty pozostałych krzywek K2- K4  
Fig. 4. Other cams shapes K2-K4

Wyniki pomiarów zamieszczono na kolejnych rysunkach (rys. 5-6). Przyrostom strzałki ugięcia towarzyszył przyrost poziomu sygnału z mostka tensometrycznego i mostka magnetorezystancyjnego.



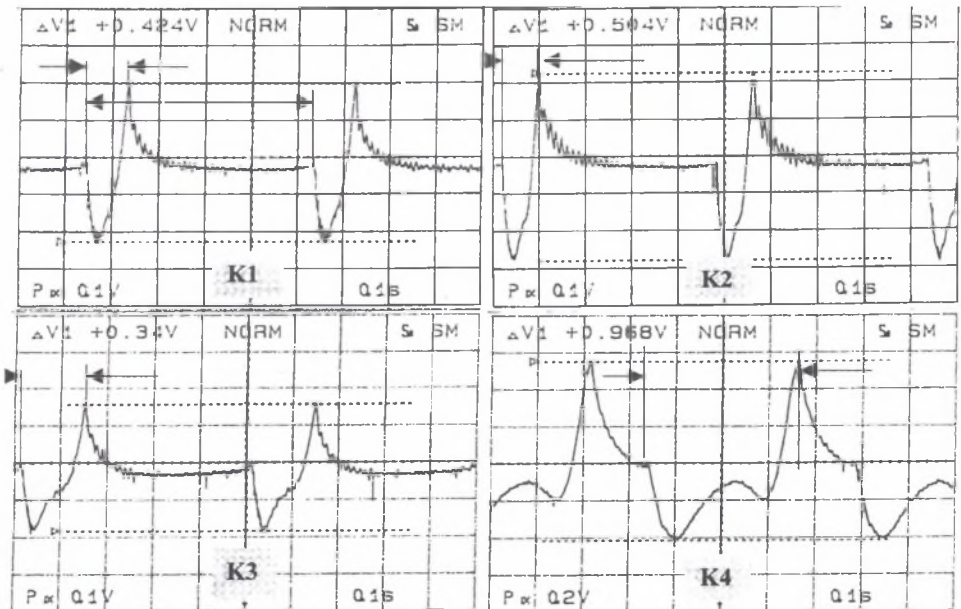
Rys. 5. Przebiegi napięciowe potencjometrycznego przetwornika pomiarowego strzałki ugięcia wywołane pracą krzywek K1 do K4  
Fig. 5. Course of voltage potentiometer transformer of arrow of deflection caused by work of cams K1 to K4





Rys. 6. Przebiegi napięciowe tensometrycznego mostkowego układu pomiarowego wywołane pracą krzywek K1 do K4

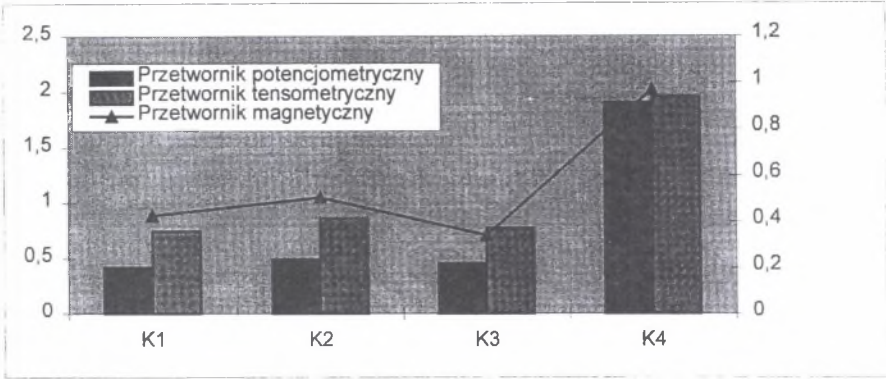
Fig. 6. Course of voltage for tensometrical bridge caused by work of cams K1 to K4



Rys. 7. Przebiegi napięciowe magneto-rezystancyjnego mostkowego układu pomiarowego wywołane pracą krzywek K1 do K4

Fig. 7. Course of voltage for measurements made by magneto-resistive bridge caused by work of cams K1 to K4

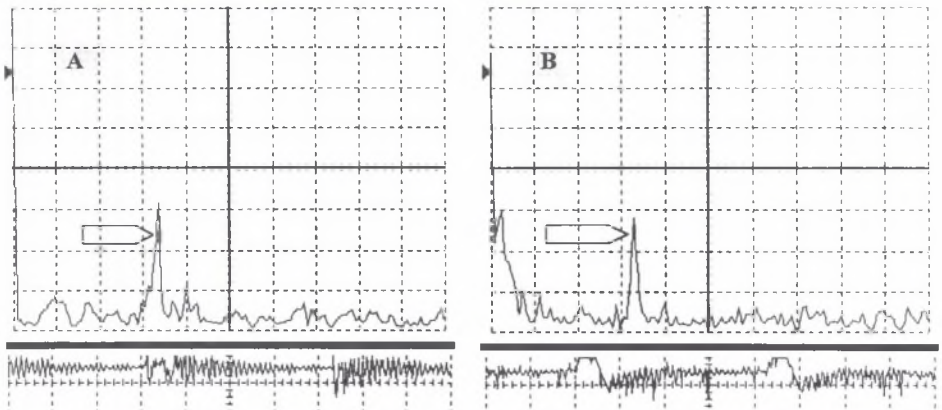
Z przeprowadzonej serii badań wynika, że wraz ze zmianami odkształceń próbki od krzywek K1-K4 pojawiały się proporcjonalne zmiany w natężeniu pola rejestrowane przetwornikami magnetorezystancyjnymi [8]. Zestawienie wyników przedstawiono wykresie na rys. 8.



Rys. 8. Wykres zbiorczy szczytowych napięć pomierzonych trzema równoległymi układami pomiarowymi wywołanych ugięciami od krzywek K1 do K4 [8]

Fig. 8. Summary graph of peak voltage measured by three measuring arrangements caused by deflection from cams K1 to K4 [8]

Wstępne wyniki badań potwierdziły zasadność podjętych prób pomiaru stanu naprężeń przetwornikami magnetorezystancyjnymi pola magnetycznego. Potwierdzono także przydatność przetworników pola w badaniach drgań [7]. Porównanie pomiarów wykonanych przetwornikiem piezoceramicznym i przetwornikiem pola magnetycznego przedstawia rys. 9.



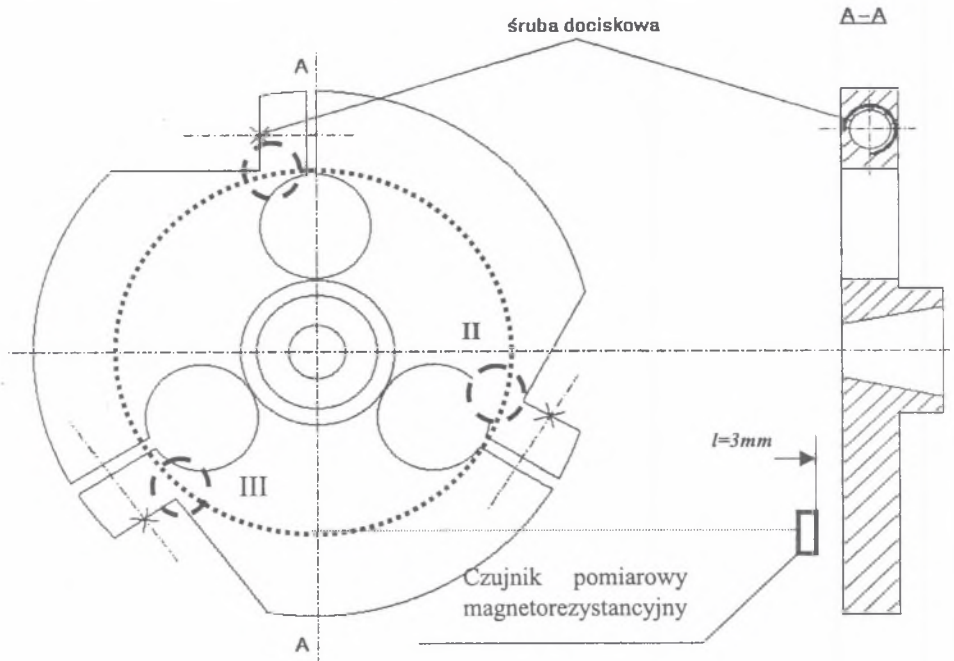
Rys. 9. Charakterystyki widmowe ugięcia dynamicznego krzywką K3 próbki stalowej na stanowisku pomiarowym. Zaznaczone amplitudy drgań własnych o częstotliwości 84 Hz: A- dla pomiaru przetwornikiem piezoceramicznym, B- dla pomiaru przetwornikiem pola magnetycznego [7]

Fig. 9. Spectral characteristics of dynamic deflection caused by cam K3 of steel sample at measuring post; marked amplitudes of own quavers at frequency 84 HZ: A – for measurement made by piezoelectric transformer; B- for measurement by magnetic field transformer [7]

### 3.2. Pomiary naprężeń i odkształceń wirujących elementów maszyn

Do tej serii badań zaprojektowano krążek stalowy przedstawiony na rys. 10, o średnicy 14cm i szerokości tarczy 11mm [9]. Przez odpowiednie rozstawienie otworów i nacięć uzyskano możliwość wpływu na stan naprężeń w jednym, dwóch lub trzech miejscach (I, II i III). Zastosowane karby miały na celu wzmocnienie efektu stanu naprężeń.

Pomiary przeprowadzono dla częstotliwości wirowania 9-10Hz. Utrzymanie stałej prędkości wirowania ze względu na rozwiązanie regulatora napięcia było utrudnione. Podczas badań przetwornik pomiarowy umieszczano płaszczyzną pomiarową stycznie do powierzchni tarczy w odległości  $l=3\text{mm}$  na promieniu oznaczonym linią grubą kropkowaną (rys10). Przy ustawieniu normalnym czujnika (wpływ cech konstrukcyjnych) rejestrowane były tylko zmiany pola magnetycznego, wynikające ze zmian kształtu (szczelina). Zestawienie charakterystyk amplitudowo - czasowych zamieszczono na rys. 11(a-d).

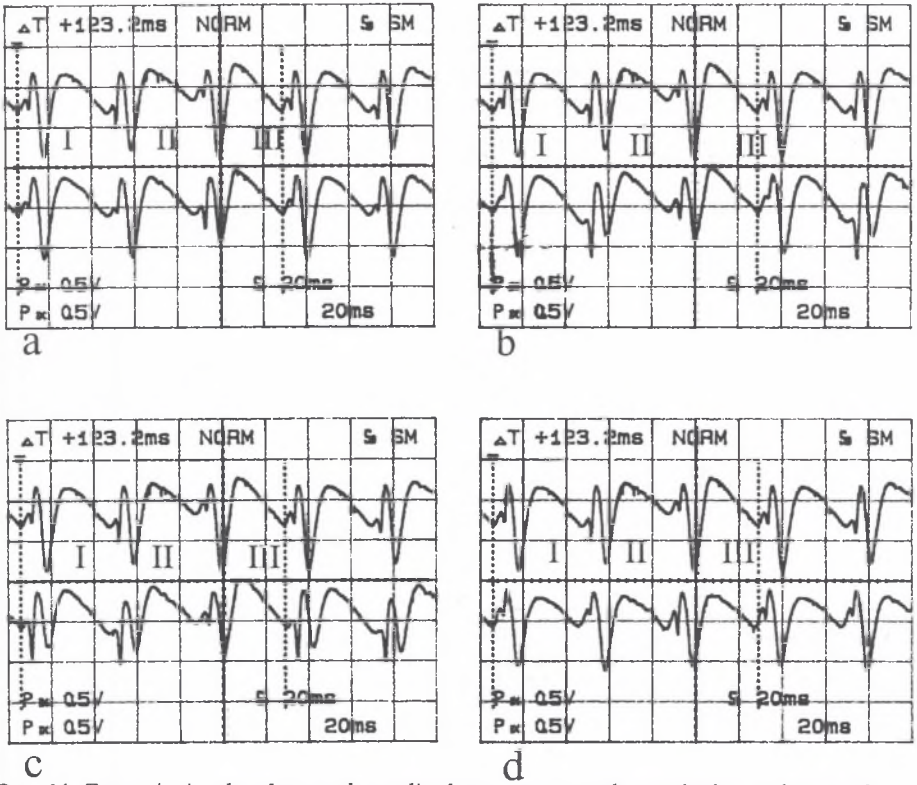


Rys. 10. Zaprojektowany krążek stalowy posiadający możliwość zmiany naprężeń poprzez dokręcenie śrub w miejscach oznaczonych grubą linią przerywaną. Linią grubą kropkowaną oznaczono promień zamocowania czujnika pomiarowego magnetorezystancyjnego [9]

Fig. 10. Designed steel trolley with ability to change stress by screwing bolts in points marked by thick dashed line. Thick dot line shows radius of fixed magneto-resistive measuring unit [9]

Na zamieszczonych przebiegach amplitudowo - czasowych można zaobserwować zmiany amplitudy oraz kształtu pomierzonego czujnikiem magnetorezystancyjnym nad strefą krążka w miejscu występowania szczeliny. W wymienionej strefie występują także zmiany magnetyzacji materiału będące wynikiem naprężeń. Zarejestrowane charakterystyki widmowe zamieszczone na rys. 12(a-d) zawierają modulację amplitudowo - fazową dla kolejnych zmian stanu naprężeń i zmian szczelin w badanym krążku.



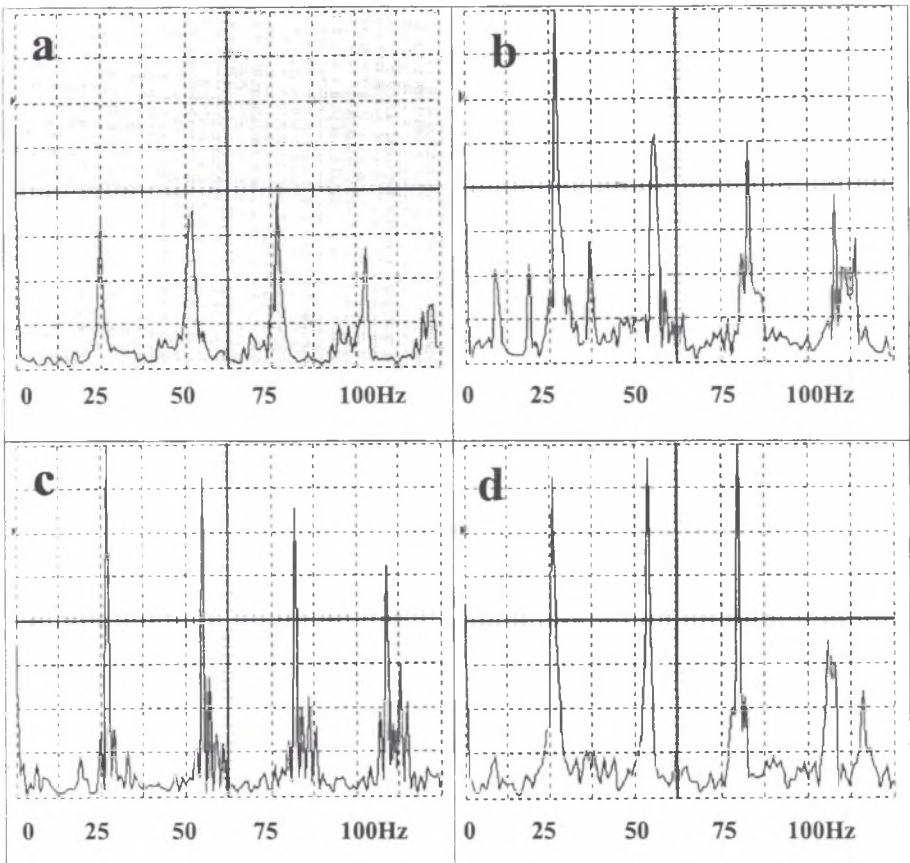


Rys. 11. Zestawienie charakterystyk amplitudowo - czasowych pomiarów wykonanych magnetorezystancyjnym mostkiem pomiarowym pola magnetycznego dla jednej z serii pomiarowych [9];

- a: górny przebieg - amplitudy sygnału dla krążka nieobciążonego, dolny przebieg - po zadaniu obciążenia śrubą III
- b: górny przebieg- amplitudy sygnału dla krążka nieobciążonego, dolny przebieg - po zadaniu obciążenia śrubą III i II
- c: górny przebieg - amplitudy sygnału dla krążka nieobciążonego, dolny przebieg - po zadaniu obciążenia śrubą III, II i I
- d: górny przebieg - amplitudy sygnału dla krążka nieobciążonego, dolny przebieg - po zdjęciu obciążenia

Fig. 11. Summary of characteristics of amplitude vs. time for measurements made by magnetoresistal measuring bridge of magnetic field for one of measurement series [9];

- a - higher course – amplitudes of signal for unloaded trolley lower course – after loading by bolt III.
- b- higher course – amplitudes of signal for unloaded trolley lower course – after loading by bolt III & II.
- c - higher course – amplitudes of signal for unloaded trolley lower course – after loading by bolt III, II & I.
- d - higher course – amplitudes of signal for unloaded trolley lower course – after unloading

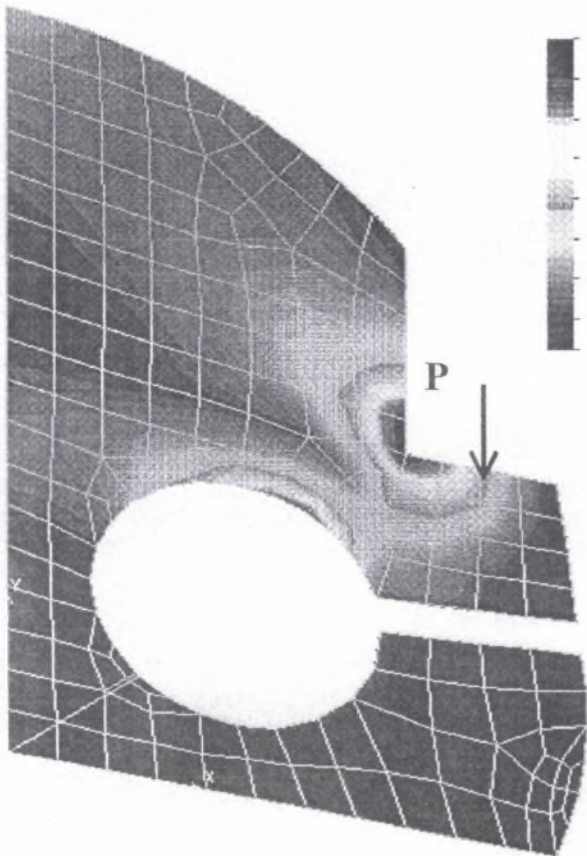


Rys. 12. Charakterystyki widmowe będące wynikiem zmian docisku na kolejnych szczelinach krążka: a- bez obciążenia, c- z obciążeniem w strefie I i II, d- z obciążeniem w strefie I, II i III, e- w kilka minut po zdjęciu obciążeń [9]

Fig.12. Spectral characteristics caused by changes of tightening for sequential crevices of trolley: a) with no load, b) with load in zone I & II, c) with load in zone I,II & III, d) after few minutes after unloading

Zamieszczone charakterystyki amplitudowo - czasowe wykazują znaczące zmiany amplitud sygnału po zadaniu docisku kolejną śrubą. Oddzielnie przeprowadzone pomiary czujnikiem magnetorezystancyjnym skierowanym prostopadle do powierzchni tarczy wykazały znikome zmiany amplitud sygnału będące wynikiem zmiany szerokości szczeliny w granicach 0,1-0,2mm. Znaczące zmiany amplitud były, zatem wynikiem zmiany magnetyzacji materiału. Z zebranych doświadczeń można wnioskować, że pomiary pola magnetycznego w pobliżu obracających się elementów niosą informacje o stanie naprężeń i kształcie elementu mierzonego. Charakterystyki widmowe przedstawione na rys. 12 zawierają modulacje częstotliwościowo - fazowe będące wynikiem wpływu zmian parametrów indukcyjnych materiału od wpływu naprężeń. Przyrost prążków bocznych w stosunku do częstotliwości podstawowych i rezonansowych jest wynikiem zadawania kolejnego docisku śrubą I, II, i III.

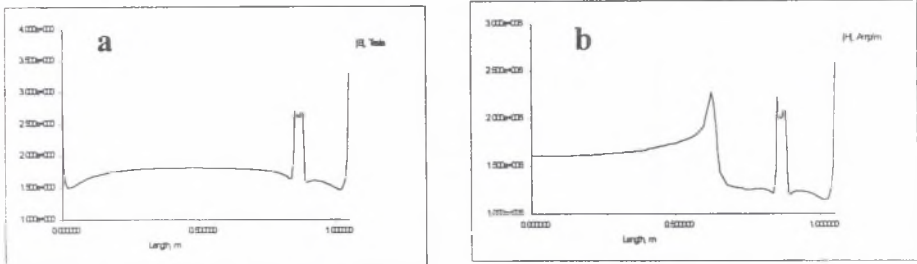
Rozkład stanu naprężeń od zadania docisku śrubą ilustruje symulacja MES wycinka krążka poddanego badaniom a przedstawiona na rys. 13.



Rys.13. Symulacja stanu naprężeń w wycinku badanego elementu [12]

Fig. 13. Stress state simulation in part of investigated element [12]

Symulację programem FEMM rozkładu natężenia pola magnetycznego prostokątnej sztabki stalowej ze szczeliną oraz takiej samej z uwzględnieniem stanu naprężeń w sąsiedztwie szczeliny przedstawia rys. 14(a i b).

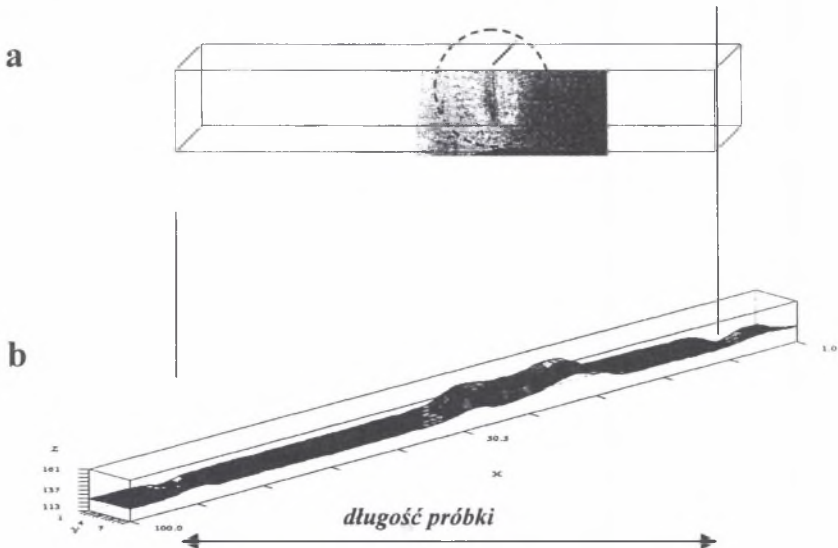


Rys. 14. Symulacja programem FEMM natężenia pola magnetycznego na powierzchni bocznej krążka; a- fragment powierzchni krążka ze szczeliną i bez naprężeń od docisku śrubą, b- fragment powierzchni krążka ze szczeliną i z wpływem naprężeń od docisku śrubą.

Fig. 14. Simulation of magnetic field density over surface with crack done by FEMM programme; a- part of surface of trolley with crevice and without stress, b- part of surface of trolley with crevice and with influence of stress

### 3.3. Badania materiałowe

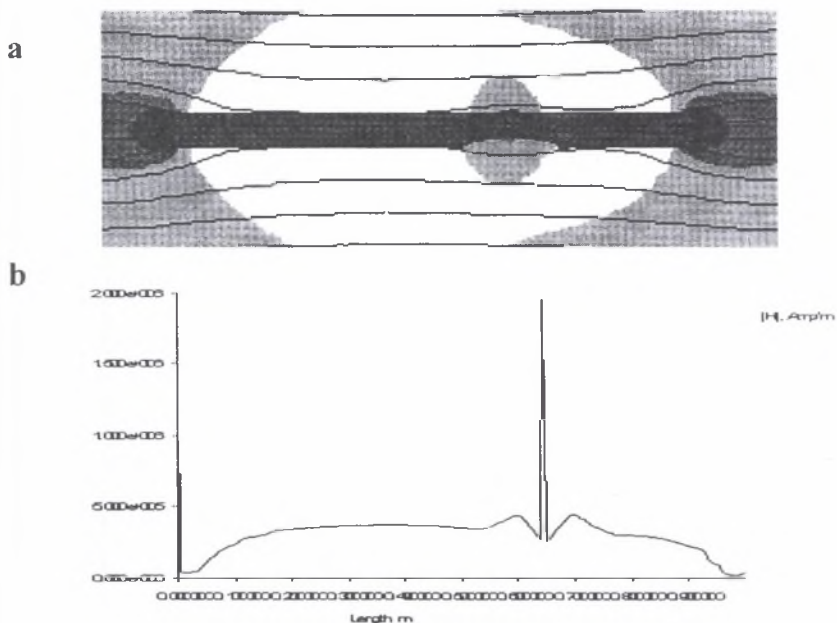
Możliwość wykrywania wad materiałowych oceniono na dwóch próbkach[10]. Pierwszą z nich, przedstawioną na rys. 15a, uzyskano w wyniku badań zmęczeniowych. Posiadała ona wymiar 100 X 10 X 5mm. W próbce tej powstał przełom zmęczeniowy na części szerokości, o wymiarze ok. 0.02mm. Pomierzony obraz natężenia pola magnetycznego przedstawiono na rys. 15b.



Rys. 15. Badana próbka (a) wraz z obrazem zmian natężenia pola magnetycznego (b)[10]  
Fig. 15. Investigated sample (a) with shown changes of magnetic field [10]



Obraz zmian pola magnetycznego porównano z wynikami symulacji próbki o zbliżonych wymiarach umieszczonej w stacjonarnym polu magnetycznym. Linie sił pola wyjaśniają przyjęte warunki brzegowe. Dla założonego mikropęknięcia o ścianach równoległych uzyskano rozkład natężenia pola jak na rys. 16a.

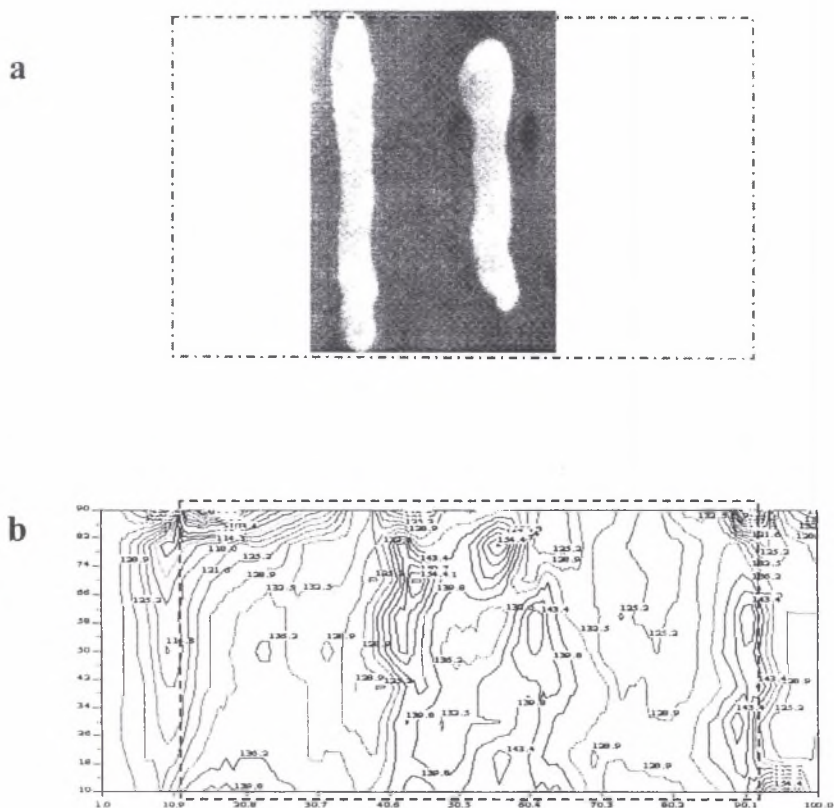


Rys. 16. Rozkład linii sił i natężenia pola – a, wykres natężenia pola na powierzchni -b  
 Fig. 16. Resolution of forces and magnetic field density – a. Graph of flux density on surface – b

Kolejne symulacje zbliżające obraz wady do stanu rzeczywistego, tj. układ stożkowy pęknięcia, utwardzenie powierzchni prowadziło do zaniku widocznego na rys. 16b wąskiego prążka o znacznej amplitudzie.

Zmiany struktury metalu będące wynikiem zmiany składu, naprężeń wewnętrznych termicznych i mechanicznych można wykryć za pomocą pola magnetycznego. Druga z omawianych próbek, której fotografie fragmentu przedstawiono na rys. 17a, posiadała dwie warstwy napawane elektrodą stopową ES 18-8b. Spawacz w tym przypadku celowo zamiechał dokładności przetopu w celu porównania z wynikiem uzyskanym na automacie spawalniczym [10].

Na rysunku 17b przedstawiono mapę pola magnetycznego na powierzchni próbki. Obszar próbki oznaczono linią przerywaną.



Rys.17. Fotografia fragmentu napawanej blachy - a, mapa zmian natężenia pola magnetycznego - b [10]

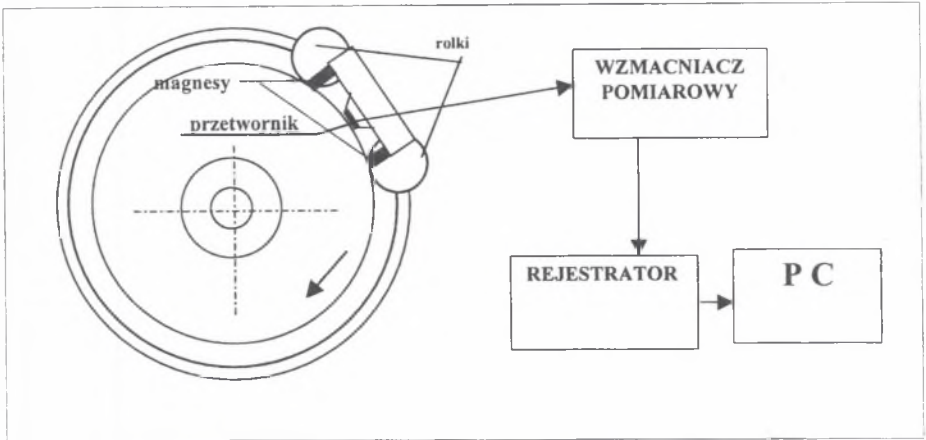
Fig. 17. Photography of part of welded sheet metal - a, map of changes of magnetic field density -b

Widoczne zmiany natężenia pola magnetycznego na obu końcach długości próbki są wynikiem oddziaływania zewnętrznego pola magnetycznego wymuszającego, pochodzącego od magnesów stałych.

Na podstawie pomiaru pola można wnioskować o istniejących wadach materiałowych mechanicznych lub strukturalnych.

#### 4. PRZYKŁAD STANOWISKA POMIAROWEGO DO DIAGNOSTYKI OBRĘCZY ZESTAWÓW KOŁOWYCH

Stanowisko pomiarowe w najprostszym przypadku powinno zapewniać płynny obrót zestawu kołowego w celu lokalizacji wady w stosunku do przyjętego znacznika położenia. Czytnik pomiarowy powinien posiadać sztywną konstrukcję i układ rolek gwarantujący stałą odległość przetwornika pomiarowego od powierzchni toczonej zestawu. Zasadę pracy stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys. 18.

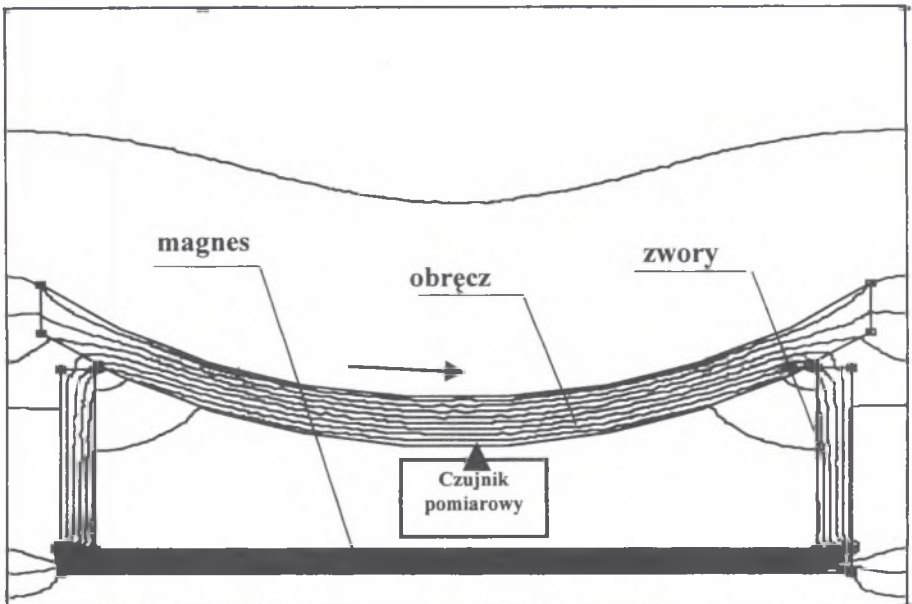


Rys. 18. Schemat stanowiska pomiarowego

Fig. 18. Measuring post scheme

#### 4.1. Symulacja zmian pola magnetycznego od wad materiałowych i technicznych w programie FEMM

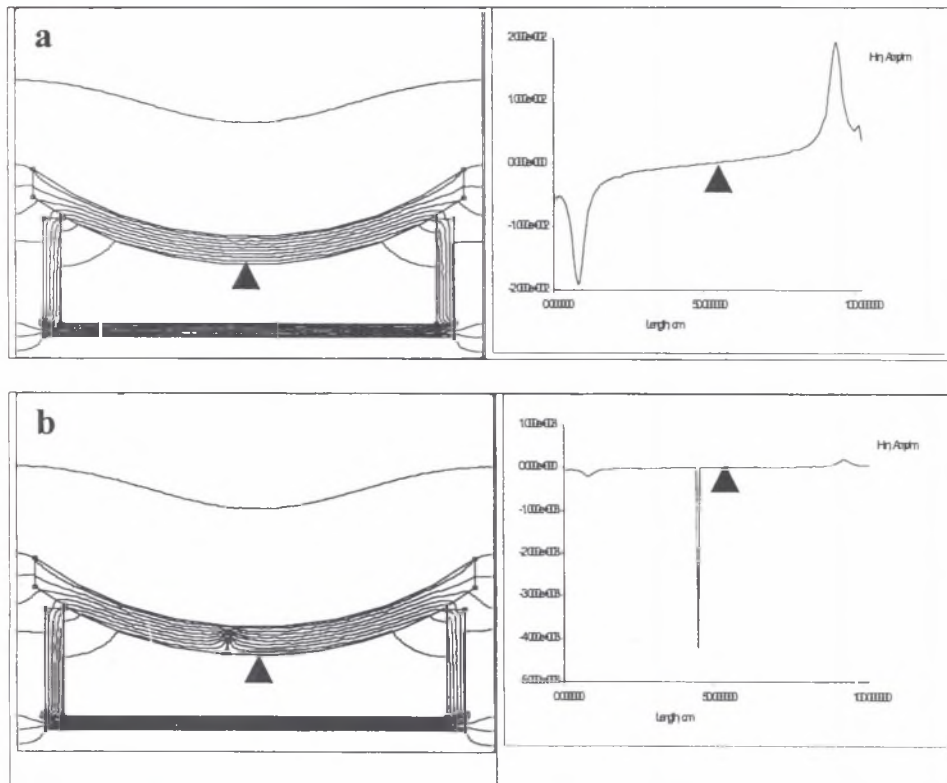
Zgodnie z zasadą pomiaru przedstawioną na rys. 18 zamodelowano rozkład sił pola magnetycznego w strefie pracy przetwornika pomiarowego [11] jak na rys. 19.



Rys. 19. Rozkład linii sił pola magnetycznego w strefie czujnika pomiarowego przylegającego do powierzchni tocznej obręczy [11]

Fig. 19. Lines of magnetic field forces in measuring sensor zone adjoining to railway wheel band surface [11]

Dla przyjętego założenia budowy i pracy czujnika przeprowadzono przybliżoną symulację rozkładu linii sił pola magnetycznego dla obręczy bez uszkodzenia i obręczy z uszkodzeniem jak na rys. 20.



Rys. 20. Rozkład linii sił pola magnetycznego oraz rozkład składowej normalnej natężenia pola o obrębie pracy czujnika dla obręczy dobrej-a i z uszkodzeniem-b [11]

Fig 20. Magnetic field forces and normal of flux density in near of sensor for wheel band good and broken [11]

## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzone badania potwierdzają zasadność szerszego rozpropagowania diagnostyki obręczy kół kolejowych z wykorzystaniem pola magnetycznego. Metoda ta znalazła już swoje miejsce i uznanie w świecie. Pole magnetyczne jest w stanie wykryć naprężenia wewnętrzne oraz defekty i wady materiału. Omówione metody badań obręczy mogą znacznie poprawić bezpieczeństwo na kolei.



## Literatura

1. Sitarz M., Wpływ warunków eksploatacji na trwałość warstwy wierzchniej bieżni. Maszynopis Instytutu Transportu Politechniki Śląskiej w Katowicach, s.18.
2. Lesiak P.T., Ultradźwiękowe badania zestawów kołowych. Maszynopis Wydziału Transportu Politechniki Radomskiej, s.27.
3. Cegielný E., Karwala K., Zastosowanie metody prądów wirowych w procesie wytwarzania zestawów kołowych pojazdów szynowych. XIV Konferencja Naukowa Pojazdy Szynowe 2000 „Pojazdy Szynowe na przełomie wieków” str. 254-258.
4. Tumański S., Cienkowarstwowe czujniki magnetorezystancyjne. Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 1997.
5. Markuszewicz M., Mierzejewski A., Materiały magnetyczne. Katowice, Wydawnictwo Górniczo-Hutnicze 1954.
6. Etienne du Trémolet de Lacheisserie, Theory and Applications of Magnetoelasticity. CRC PRESS - Boca Raton, Ann Arbor, Boston, London, 1992.
7. Żurek Z.H., Cienkowarstwowe czujniki magnetorezystancyjne jako narzędzia pomiarowe w diagnostyce technicznej. Politechnika Wrocławska, XXXVI Międzynarodowe Sympozjum Maszyn Elektrycznych – Diagnostyka maszyn elektrycznych, SME 2000.
8. Żurek Z.H., Przetworniki magnetorezystancyjne pola magnetycznego w badaniach stanów naprężeń mechanicznych próbki stalowej. Politechnika Śląska, Nowe technologie i materiały w metalurgii i inżynierii materiałowej, VIII Seminarium Naukowe, Katowice 2000.
9. Żurek Z.H., Badania naprężeń w wirujących elementach maszyn poprzez pomiar pola magnetycznego. Politechnika Śląska, XVII Ogólnopolska Konferencja – Przekładnie zębate, Węgierska Górka 2000.
10. Żurek Z.H., Materiały niepublikowane badań własnych, Instytut Transportu Politechniki Śląskiej.
11. Żurek Z.H., Materiały niepublikowane badań własnych, Instytut Transportu Politechniki Śląskiej.
12. Kokoszka M., Materiały niepublikowane, symulacja MES, Instytut Transportu Politechniki Śląskiej.

Recenzent: Dr hab. inż. Paweł Piec,  
Prof. Politechniki Krakowskiej

## Abstract

Until now in Poland the most disseminating method of investigating railway wheel bands is the method of ultrasonic. However, dissemination of usefulness of this magnetic method in machine industry in the world, gave inspirations for authors to carry on theoretical and experimental investigations at using this method in diagnostic investigations of railway wheel bands.

In this paper are shown requirements for diagnostic investigations of railway wheel sets by undamaging methods.

Theoretical basic about investigating railway wheel bands with magnetic methods were shown and experimental investigations were carried out. Experiment relying at using

properties of magnetic field contained of quavers measurements and deflection of hardened and rotating elements and material investigations referring to changes in structural continuity of material and mechanical defects. The device and measuring post were designed to investigate state of railway wheel bands and the simulation by FEMM program was done to check acceptance of expectations. Covered investigations gave satisfactory effects.