

Kazimierz JAKUBIUK*
Mirosław WOŁOSZYN*

ZESTAW BEZPRZEWODOWYCH CZUJNIKÓW MAGNETYCZNYCH DO DETEKCJI I IDENTYFIKACJI POJAZDÓW FERROMAGNETYCZNYCH

W pracy przedstawiono wyniki badań deformacji ziemskiego pola magnetycznego przez pojazdy lądowe. Na podstawie analiz kształtu deformacji pola magnetycznego można dokonać detekcji i identyfikacji pojazdu. W celu wyeliminowania wpływu zakłóceń ziemskiego pola magnetycznego przez środowisko, pomiary wykonywano w układzie różnicowym. W oparciu o wyniki badań symulacyjnych, w ramach projektu rozwojowego zbudowano bezprzewodowy system czujników magnetycznych do monitorowania ruchu pojazdów na lotniskach, w portach i na przejściach granicznych. Przedstawiono sposób przybliżonej identyfikacji pojazdu na podstawie kształtu rozkładu składowej pionowej B_z indukcji magnetycznej.

1. WSTĘP

Pojazd, który chociaż w części jest zbudowany z materiałów ferromagnetycznych, znajdujący się w ziemskim polu magnetycznym, powoduje deformację tego pola w swoim otoczeniu. Deformacja ziemskiego pola magnetycznego może zostać zmierzona dostępnymi obecnie na rynku magnetometrycznymi czujnikami magnetycznymi. Czujniki te pozwalają mierzyć indukcję magnetyczną z rozdzielczością rzędu pT (indukcja ziemskiego pola magnetycznego wynosi około $50 \mu\text{T}$), co stwarza możliwości pomiaru pola magnetycznego z dużą dokładnością. Analizując wyniki pomiaru można dokonywać detekcji i identyfikacji pojazdów o właściwościach ferromagnetycznych [2, 3]. Detekcja i identyfikacja pojazdów jest ważna z punktu widzenia bezpieczeństwa oraz ze względów gospodarczych. W warunkach rzeczywistych często występują sytuacje, w których detekcja i identyfikacja innymi, powszechnie znanymi metodami, jest utrudniona lub niemożliwa. Wychodząc naprzeciw spodziewanemu zapotrzebowaniu na tego rodzaju systemy, w ramach projektu rozwojowego [1] zbudowano bezprzewodowy system czujników magnetycznych do monitorowania ruchu pojazdów na lotniskach, w portach i na przejściach granicznych. System opiera się na pomiarze deformacji rozkładu ziemskiego pola magnetycznego przez szereg czujników magnetycznych,

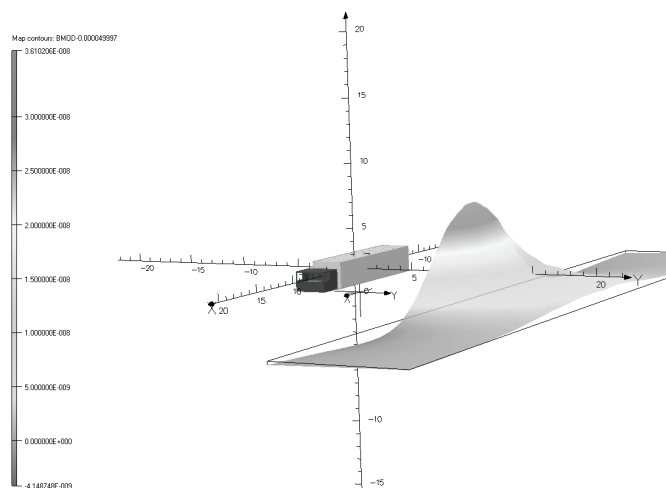
* Politechnika Gdańska.

odpowiednim przetwarzaniu sygnału pomiarowego i przesyła tego sygnału do bazy drogą radiową. W bazie, system komputerowy przetwarza otrzymane informacje i generuje odpowiednie raporty i dokonuje odpowiedniej wizualizacji ruchu pojazdów.

W pracy przedstawiono wybrane wyniki pomiaru deformacji indukcji magnetycznej Ziemi przez różnego rodzaju pojazdy oraz przybliżoną metodę identyfikacji pojazdów.

2. WYNIKI BADAŃ DEFORMACJI ZIEMSKIEGO POLA MAGNETYCZNEGO ZA POMOCĄ SYSTEMU CZUJNIKÓW MAGNETYCZNYCH

Na rys. 1 przedstawiono uzyskany w wyniku symulacji komputerowej przykładowy rozkład deformacji indukcji magnetycznej Ziemi spowodowanej przez samochód ciężarowy.



Rys. 1. Rozkład modułu indukcji magnetycznej otrzymany z symulacji komputerowej przy ustawieniu ciężarowego w kierunku magnetycznym wschód-zachód (W-E)

Zestaw czujników magnetycznych do pomiaru deformacji ziemskiego pola magnetycznego przez pojazd o własnościach ferromagnetycznych przedstawiono na rys. 2. W celu eliminacji środowiskowych zakłóceń ziemskiego pola magnetycznego, pomiary indukcji magnetycznej wykonywano w układzie różnicowym.

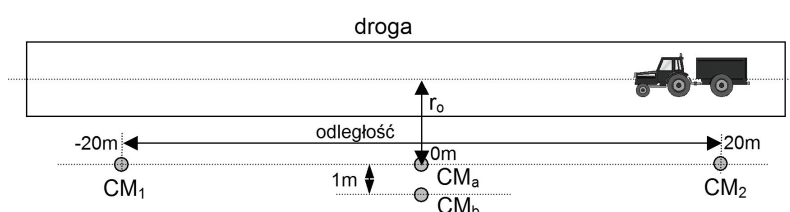
W układzie przedstawionym na rys. 2 wyniki pomiaru rejestrowano w funkcji czasu. W celu przeskalowania wyników pomiarów indukcji magnetycznej rejestrowanych w funkcji czasu na rozkłady w funkcji przemieszczenia, należy określić prędkość pojazdu. Średnią prędkość v pojazdu można określić na



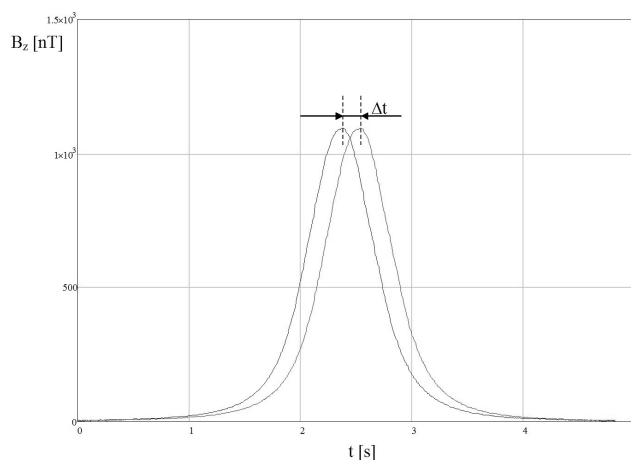
podstawie pomiaru czasu między wartościami ekstremalnymi składowej B_z (rys.3) za pomocą dwóch czujników magnetycznych CM_1 i CM_2 ustawionych równoległe do drogi, oddalonych od siebie na odległość L_V (rys.2) według wzoru:

$$v \approx \frac{L_V}{\Delta t} \quad (1)$$

gdzie: L_V - odległość między czujnikami, Δt - zmierzony czas pomiędzy chwilami występowania maksymalnych wartości składowej B_z w czujnikach CM_1 i CM_2 .



Rys. 2. Rozmieszczenie czujników magnetycznych podczas badań deformacji pola magnetycznego przez pojazdy: CM_1 , CM_2 – czujnik magnetyczny do określania prędkości pojazdu, CM_a , CM_b – czujniki do pomiaru indukcji magnetycznej w układzie różnicowym



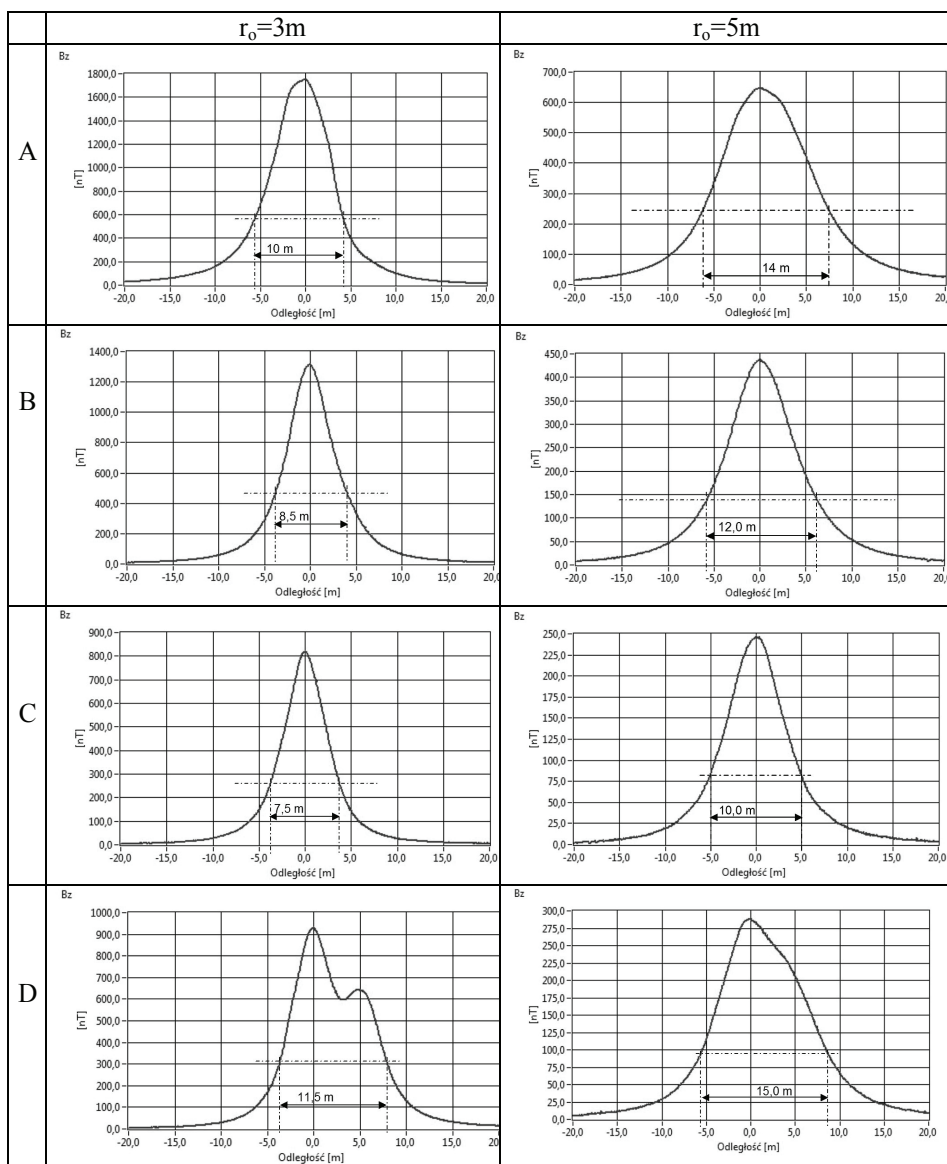
Rys. 3. Metoda pomiaru czasu dla rozkładów składowej B_z indukcji magnetycznej zarejestrowanych przez skrajne czujniki CM_1 i CM_2 (rys. 2)

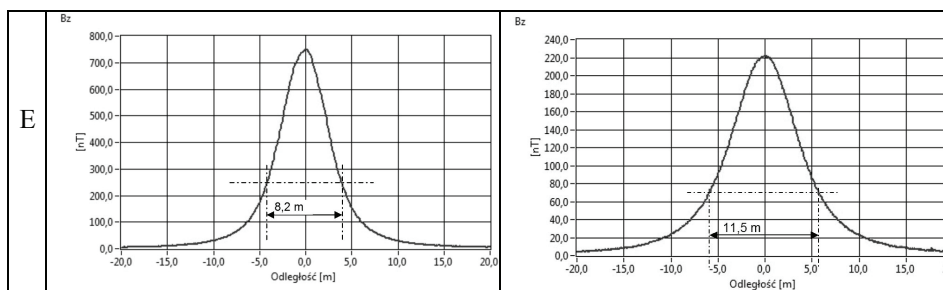
Współrzędną „odległość” (przemieszczenie) na zamieszczonych w pracy wykresach rozkładów indukcji magnetycznej wyznaczano ze wzoru:

$$\text{odległość} = vt \quad (2)$$

Analizując wiele rozkładów indukcji magnetycznej od różnych pojazdów, zaproponowano przybliżoną korelację pomiędzy kształtem rozkładu składowej B_z indukcji magnetycznej a długością pojazdu, który ją wywołuje.

Tabela 1. Rozkłady różnic składowej pionowej B_z indukcji magnetycznej (różnicowe) pojazdów dla kierunku magnetycznego N-S z zaznaczoną odległością r_D (A – samochód ciężarowy; B - samochód dostawczy; C - traktor; D - traktor z przyczepą; E-samochód osobowy)





Rozkład powinien być wyskalowany w funkcji drogi. W odległość r_D (w [m]) pomiędzy wartościami składowej pionowej B_z indukcji magnetycznej na wysokości równej 1/3 maksymalnej jej wartości, jest funkcją długości pojazdu L_p (w [m]), którą można otrzymać z aproksymacji uzyskanych wyników. Parametrem tej funkcji jest odległość czujników od drogi r_0 (rys. 2). Biorąc pod uwagę to, że pojazd nie zawsze będzie przemieszczał się w jednakowej odległości od czujników magnetycznych (np. szeroka droga w lesie) należy identyfikację długości pojazdu uznać za przybliżoną. W tabeli 1 zestawiono rozkłady składowej pionowej B_z indukcji magnetycznej różnych pojazdów dla kierunku magnetycznego północ-południe (N-S), dla $r_0 = 3$ m i $r_0 = 5$ m.

Kształt rozkładu deformacji pola magnetycznego przez pojazd zależy od kierunku magnetycznego wzdłuż którego porusza się pojazd. Zależność ta jest wynikiem powiązania istniejących poszczególnych składowych wektora ziemskiego pola magnetycznego z symetrią pojazdu oraz z ewentualnego namagnesowania stałego pojazdu. Niezamieszczone w pracy badania deformacji ziemskiego pola magnetycznego przez różne pojazdy w mało znaczący sposób zależą od kierunku, w którym poruszają się te pojazdy. Nie wpływa to na detekcję i identyfikację pojazdów zaproponowaną metodą.

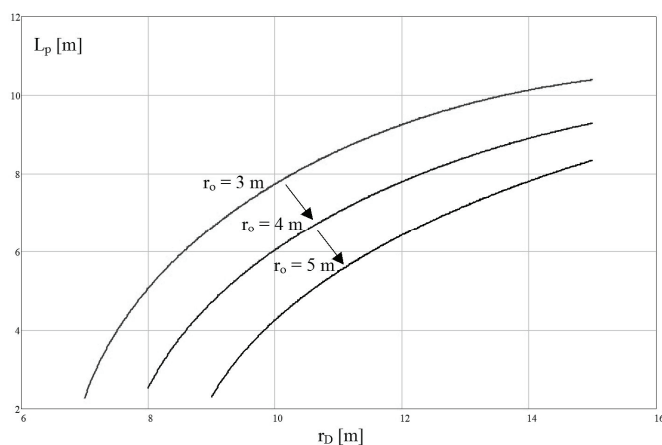
Na rys. 4 pokazano zależność długości pojazdu L_p od wartości parametru r_D dla różnych odległości r_0 czujników magnetycznych od osi, na podstawie którego jest możliwa przybliżona identyfikacja długości różnych pojazdów.

Inna metoda identyfikacji pojazdu wynika z zależności maksymalnej wartości składowej ΔB_z indukcji magnetycznej od odległości od drogi. Maksymalna wartość składowej ΔB_z zależy od mas ferromagnetycznych pojazdu. Zmierzona maksymalna wartość składowej ΔB_z modułu indukcji magnetycznej deformacji ziemskiego pola magnetycznego przez pojazd, zawierająca się między wartościami granicznymi linii pokazanymi na rys. 5, wskazuje na rodzaj wykrywanego pojazdu. Dla znanej odległości r_0 czujnika od osi drogi można zidentyfikować rodzaj pojazdu.

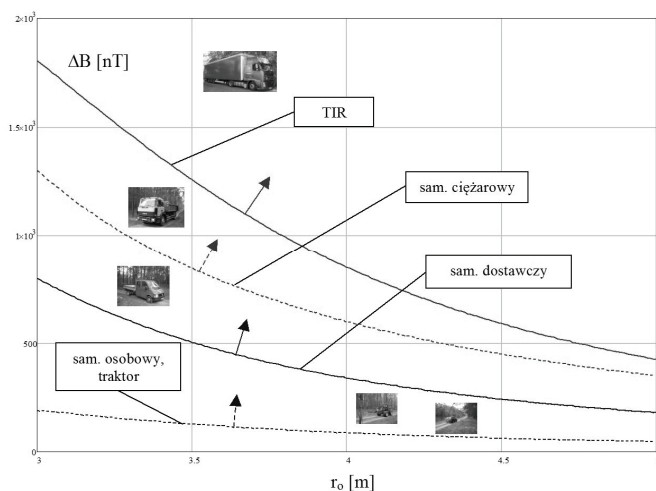
W zmierzonych rozkładach indukcji magnetycznej dla różnych pojazdów dominującą wartość posiada składowa pionowa B_z . Jest ona w przybliżeniu równa modułowi indukcji magnetycznej [1]. Dlatego lokalizacja i identyfikacja pojazdów może być dokonywana w wyniku pomiaru składowej pionowej lub modułu indukcji



magnetycznej. Analizując rozkłady różnicy składowej B_z wektora indukcji magnetycznej przedstawione w tabeli 1 można zauważyć, że kształty jej rozkładów są zbliżone dla wszystkich rodzajów badanych pojazdów. Z wyników nie zamieszczonych w artykule wynika, że rozkłady te niewiele się różnią kształtem dla wszystkich kierunków magnetycznych, wzdłuż których mogą poruszać się pojazdy.

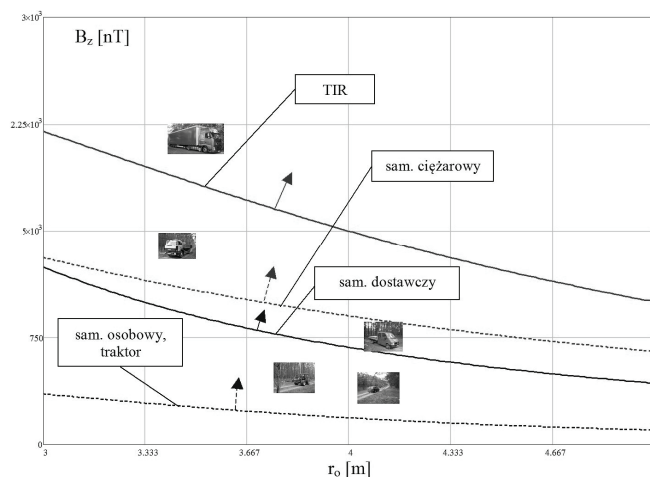


Rys. 4. Zależność długości pojazdu L_p od wartości parametru r_D (tabela 1) dla różnych odległości r_o czujników magnetycznych od osi drogi



Rys. 5. Linie graniczne różnicy modułu indukcji magnetycznej w funkcji odległości od drogi dla wybranych pięciu rodzajów pojazdów

Na rys. 6 pokazano linie graniczne wynikające z maksymalnych wartości składowej B_z indukcji magnetycznej dla wybranych pięciu rodzajów pojazdów.



Rys. 6. Linie graniczne składowej pionowej indukcji magnetycznej dla wybranych pięciu rodzajów pojazdów

Jak wynika z rys. 6 składowa pionowa indukcji magnetycznej daje nieco gorsze wyniki, utrudniające identyfikację samochodów dostawczych i ciężarowych.

3. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedstawione, wybrane wyniki badań bezprzewodowego systemu czujników magnetycznych do monitorowania ruchu pojazdów na lotniskach, w portach i na przejściach granicznych potwierdzają, że opracowany system jest w stanie dokonywać detekcji i w przybliżeniu identyfikować przemieszczające się pojazdy. Na podstawie przeprowadzonych badań rozkładów deformacji ziemskiego pola magnetycznego dla czterech różnych pojazdów mechanicznych można sformułować następujące wnioski:

- zmiany ilościowe i jakościowe rozkładów deformacji pola magnetycznego różnych pojazdów są bardziej zróżnicowane dla mniejszych odległości czujników magnetycznych od drogi;
- dla pojazdów z przyczepą lub naczepą w rozkładach indukcji magnetycznej występuje kilka (najczęściej dwa) lokalnych wartości ekstremalnych. Lokalne ekstrema zanikają, łącząc się w jedno ekstremum, wraz ze zwiększaniem odległości czujników magnetycznych od drogi;
- rodzaj i długość identyfikowanego pojazdu można zidentyfikować na podstawie kształtu rozkładu deformacji ziemskiego pola magnetycznego oraz na podstawie wartości maksymalnej składowej pionowej B_z (lub modułu indukcji



- magnetycznej). Połączenie obydwu metod daje większą dokładność identyfikacji;
- najkorzystniejszą składową do lokalizacji i identyfikacji pojazdów jest moduł wektora indukcji magnetycznej;
 - pomiar indukcji magnetycznej w układzie różnicowym, w sposób naturalny eliminuje zakłócenia środowiskowe zakłócenia ziemskiego pola magnetycznego;
 - kształty rozkładów deformacji ziemskiego pola magnetycznego różnią się w mało znaczącym stopniu dla różnych kierunków magnetycznych, wzdłuż których porusza się pojazd. Zależność kształtu rozkładu jest wynikiem powiązania istniejących poszczególnych składowych wektora ziemskiego pola magnetycznego z symetrią pojazdu oraz z ewentualnego namagnesowania stałego pojazdu;
 - opracowany system umożliwia detekcję i identyfikację pojazdów z odległości do 20m.

LITERATURA

- [1] Projekt rozwojowy nr 0130/R/T00/2010/12. Bezprzewodowy system czujników magnetycznych do monitorowania ruchu pojazdów na lotniskach, w portach i na przejściach granicznych. Raport końcowy. Gdańsk 2013.
- [2] S. Taghvaeeyan and R. Rajamani: Use of vehicle magnetic signatures for position estimation. *Appl. Phys. Lett.* 99, 134101 (2011).
- [3] Whitcomb, L.A.: Sensor compensation for vehicle magnetic signatures. *Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE*, Volume: 4, Issue: 2, pp.33-37, 1989.

SYSTEM OF WIRELESS MAGNETIC SENSORS FOR DETECTION AND IDENTIFICATION OF FERROMAGNETIC VEHICLES

This paper presents the results of deformation of the Earth's magnetic field by land vehicles. Based on analysis of the shape of the deformation of the magnetic field can make detection and identification of the vehicle. In order to eliminate interference by Earth's magnetic field environment, the measurements were performed in a differential configuration. Based on simulation results, the project built a wireless system development of magnetic sensors to monitor traffic in airports, ports and border crossings. The paper presents the approximate identification of the vehicle based on the shape of the distribution of the vertical component of magnetic induction B_z .