



Paweł Ptak

Politechnika Częstochowska

al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa

e-mail: p.ptak@o2.pl

OCENA JAKOŚCI WYNIKÓW POMIARÓW GRUBOŚCI POWŁOK NA PODŁOŻACH FERROMAGNETYCZNYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono zagadnienia dotyczące pomiaru grubości warstw wierzchnich, przeprowadzane z wykorzystaniem przetworników indukcyjnościowych. Opisano badania dotyczące przetwornika indukcyjnościowego transformatorowego. Przeprowadzono badania dokładności przetworników pomiarowych w pomiarach wybranych warstw wierzchnich.

Słowa kluczowe: pomiary grubości warstw wierzchnich, przetworniki indukcyjnościowe.

EVALUATION OF THE QUALITY RESULTS OF THE THICKNESS MEASUREMENT OF COATINGS ON FERROMAGNETIC SUBSTRATES

Abstract. In the paper the problems of surfaces layers thickness measure using inductive transducers have been presented. The research relating for transformer inductive transducers were described. Accuracy tests of transducers for measuring of selected surface layers were performed. (Evaluation of the quality results of the thickness measurement of coatings on ferromagnetic substrates).

Keywords: measure of surface layers thickness, inductive transducers.

Wstęp

Powłoki nakładane są dla ochrony czy ozdoby, powinny jednak także spełniać określone parametry dotyczące ich wyglądu, jakości, grubości, wytrzymałości czy trwałości. Powłoki mają zazwyczaj grubość od setnych części milimetra do kilku milimetrów [1, 2].

Metody pomiaru grubości powłok możemy podzielić na niszczące i nieniszczące. Biorąc pod uwagę możliwości zastosowania wybranych metod w praktyce pomiarowej, metody nieniszczące wykazują szereg zalet, które czynią je bardziej uniwersalnymi. Metody nieniszczące wykorzystuje się zazwyczaj do pomiaru grubości warstw, kiedy nie jest możliwe przygotowanie próbki dla pomiarów niszczących lub wtedy, gdy uszkodzenie badanego elementu nie jest wskazane.

Przetworniki indukcyjnościowe

Działanie przetworników indukcyjnościowych opiera się na zasadzie zmiany indukcyjności własnej lub wzajemnej pod wpływem wielkości nieelektrycznej. W przetwornikach tych istnieje możliwość wpływu na zmianę indukcyjności poprzez regulację liczby zwojów lub zmianę reluktancji [3].

Metoda elektromagnetyczna z zastosowaniem przetworników transformatorowych jest wykorzystana w przypadku badania powłok z materiałów nieferromagnetycznych na podłożach ferromagnetycznych. Przetwornik taki zbudowany jest z dwóch uzwojeń na wspólnym rdzeniu ferromagnetycznym, stanowi transformator prądowy o otwartym obwodzie magnetycznym. Obwód magnetyczny przetwornika zamyka się poprzez badaną powłokę i podłoże, a powłoka stanowi szczelinę w obwodzie [4]. Napięcie wyjściowe przetwornika indukcyjnościowego przeznaczonego do pomiarów grubości powłok zależy od grubości powłoki, przewodności elektrycznej materiału podłoża, promienia krzywizny obiektu, grubości podłoża obiektu, pola powierzchni, na jakiej przeprowadzany jest pomiar, chropowatości i odległości miejsca pomiaru od krawędzi obiektu.

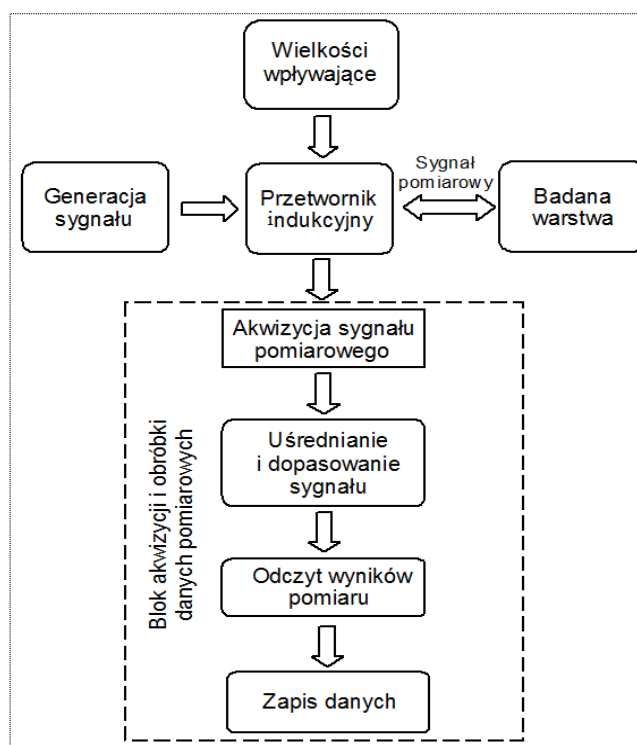
Błędy pomiarowe przetworników indukcyjnościowych

Błędy pomiarowe przy zastosowaniu przetworników transformatorowych wynikają zazwyczaj: ze zmiany napięcia zasilającego i jego częstotliwości, zmiany temperatury, nieliniowości charakterystyk, zmiany kąta fazowego impedancji przetwornika, klasy dokładności przyrządu współpracującego z przetwornikiem, nieczułości układu czy zakłóceń polami elektromagnetycznymi. Zmiany częstotliwości i napięcia zasilającego niweluje zazwyczaj zastosowanie odpowiedniej klasy generatora napięcia, który jest mało wrażliwy na takie zakłócenia zasilania. Zmiany temperatury powodują zmiany rezystancji uzwojeń przetwornika i w celu ich wyeliminowania stosuje się układy pomiarowe składające się z dwóch przetworników indukcyjnościowych, połączonych różnicowo. Przy zastosowaniu metody różnicowej, skutek niepełnej symetrii obwodów magnetycznych, powstają błędy wynikające ze zmiany kąta fazowego

impedancji przetwornika indukcyjnościowego. Aby tego uniknąć, należy budować obie połówki przetwornika różnicowego o jednakowej konstrukcji i z możliwie jednakowych materiałów [3].

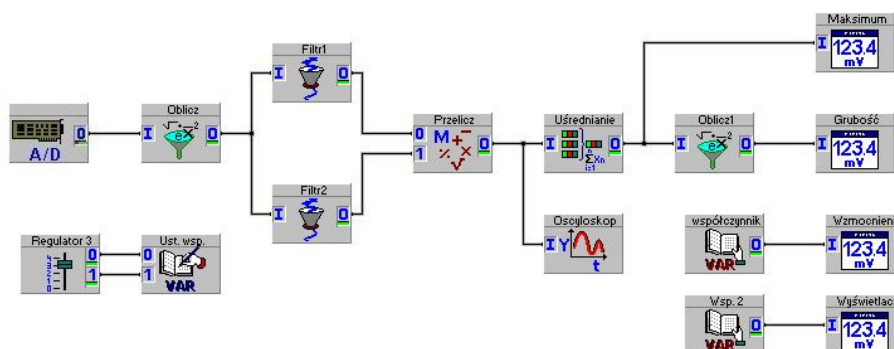
Układ pomiarowy

Do przeprowadzenia pomiarów grubości warstw wierzchnich z przetwornikiem indukcyjnościowym transformatorowym zastosowano system pomiarowy, którego schemat blokowy przedstawiono na rysunku 1.



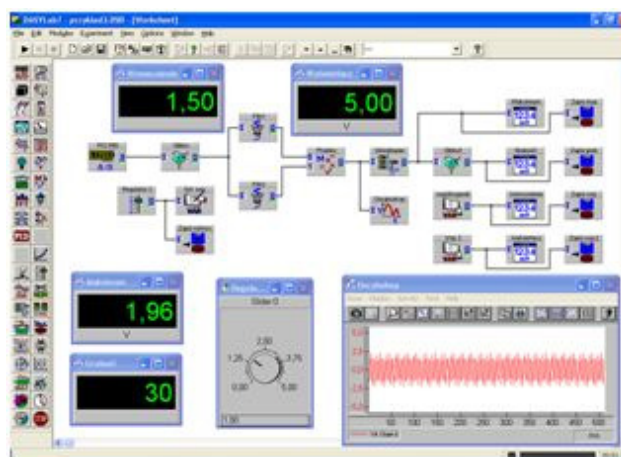
Rys. 1. Schemat blokowy systemu pomiarowego

Dla zaproponowanego schematu blokowego zaprojektowano układ pomiarowy wykorzystujący program DasyLab. Schemat ideowy przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat ideowy układu pomiarowego w programie DasyLab, współpracujący z kartą PCI 9118

Przykładową wizualizację wyników pomiarów grubszości warstw wierzchnich przedstawia rysunek 3.

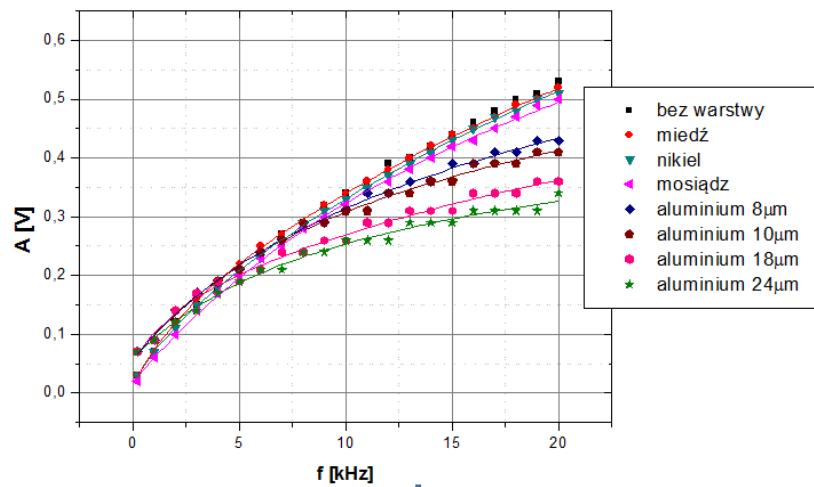


Rys. 3. Ekran programu DasyLab podczas wykonywania pomiarów grubszości warstw

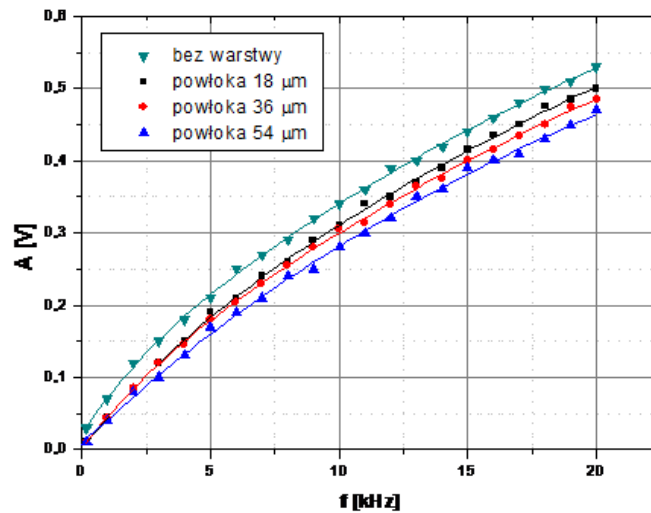
Badania przetwornika indukcyjnościowego transformatorowego

Do przeprowadzenia pomiarów grubszości warstw wierzchnich wykonano wzorcowe próbki o określonej grubszości podłoża i warstwy wierzchniej. Badania zostały prowadzone dla podłoża ferromagnetycznych, przetwornik był zasilany sygnałami sinusoidalnymi o różnych częstotliwościach. Ze względu na grubszość wnikania sygnału pomiarowego do wnętrza badanej próbki, częstotliwości

sygnału sinusoidalnego do badań wybrano z zakresu od 100 Hz do 20 kHz. Przeprowadzono wstępne badania dotyczące pracy przetwornika przy zasilaniu przebiegami niesinusoidalnymi. Jako warstwy wierzchniej użyto powłok o właściwościach nieferromagnetycznych i przewodzących. Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunkach 4 i 5.



Rys. 4. Amplituda sygnału pomiarowego dla różnych grubości powłok przewodzących i odmiennej własności materiałowych na podłożu ferromagnetycznym

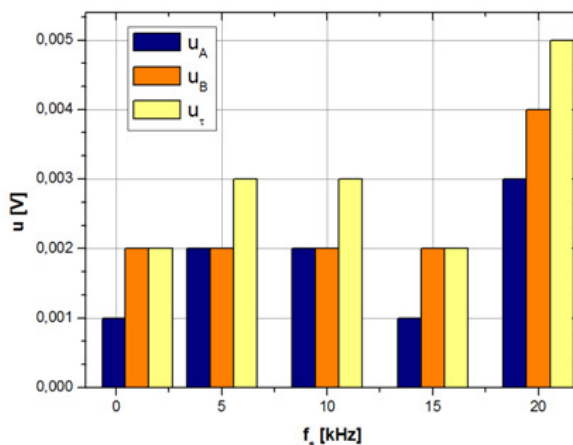


Rys. 5. Charakterystyki amplitudy sygnałów sinusoidalnych dla różnych grubości powłok izolacyjnych na podłożu ferromagnetycznym

Jak można zaobserwować, amplituda sygnału pomiarowego dla powłok przewodzących najszybciej pochodzi z zakresu pomiarowego od 100 Hz do 5 kHz. Różnice pomiędzy poszczególnymi powłokami dla tego zakresu pomiarowego nie są duże. Znacznie lepiej można wyróżnić poszczególne sygnały dla zakresu częstotliwości od 5 kHz do 15 kHz. Powyżej tej wartości wzrost amplitudy sygnału ze wzrostem częstotliwości jest słabszy. W przypadku powłok izolacyjnych odległości pomiędzy poszczególnymi krzywymi amplitudy sygnału pomiarowego są zbliżone w całym zakresie od 3 kHz do 20 kHz. Wzrost amplitudy jest największy w dolnym zakresie pomiarowym, od 100 Hz do około 5 kHz. Powyżej tej częstotliwości wykresy mają charakter bardziej liniowy.

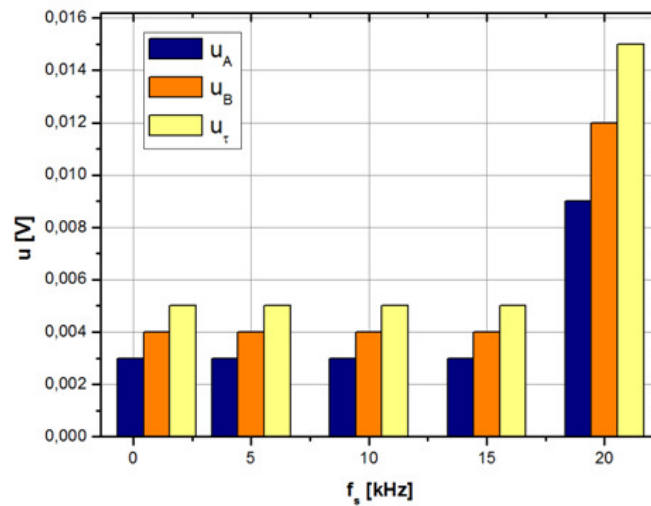
Ocena niepewności pomiaru bezpośredniego dla czujników indukcyjnościowych

Pomiary przeprowadzono dla powłoki aluminiowej na podłożu stalowym, przy kilku wartościach częstotliwości sygnału pomiarowego od 1 kHz do 20 kHz. Dla każdej częstotliwości wykonano serię 35 pomiarów dla rozkładu normalnego i serię 10 pomiarów dla rozkładu t-Studenta. Oceny niepewności przedstawiono na rys. od 7 do 10.



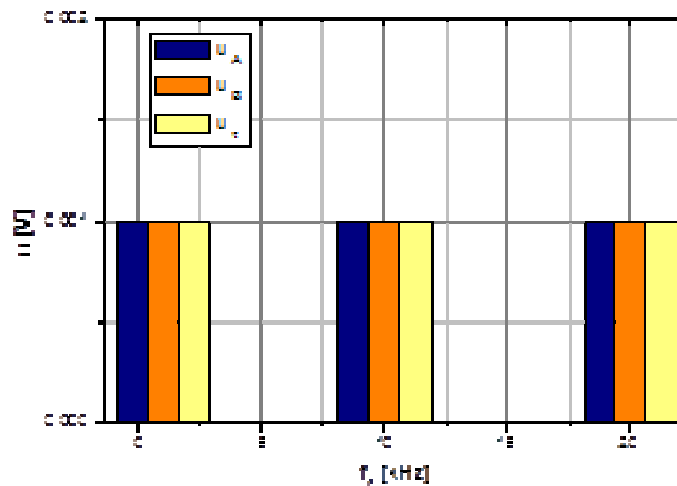
Rys. 6. Niepewności pomiaru czujnika „1” dla rozkładu normalnego

Przedstawione na rysunku 7 wykresy niepewności czujnika „1” dla rozkładu normalnego oscylują wokół podobnych wartości dla częstotliwości sygnału pomiarowego do 15 kHz. Dla wartości częstotliwości 20 kHz niepewności osiągają blisko dwukrotnie większe wartości.

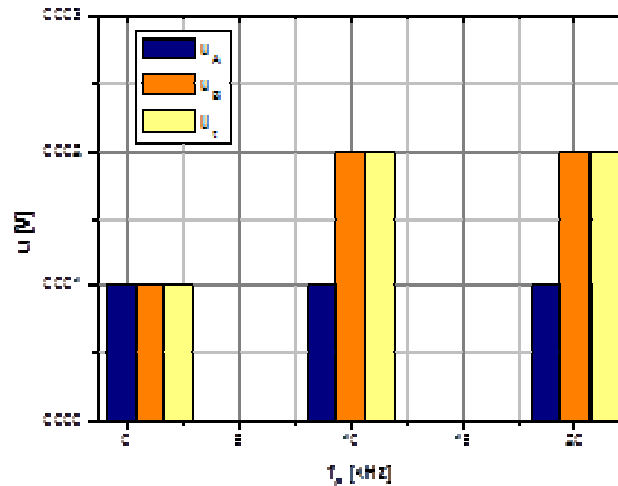


Rys. 7. Niepewności pomiaru czujnika „1” dla rozkładu t-Studenta

Dla rozkładu t-Studenta wartości niepewności typu A, B i niepewności łącznej dla czujnika „1” mają blisko dwa razy większe wartości niż dla rozkładu normalnego. Podobnie jak poprzednio, dla częstotliwości 20 kHz wielkość niepewności znacznie rośnie, co wiąże się z głębokością wnikania sygnału pomiarowego do wnętrza badanej powierzchni.



Rys. 8. Niepewności pomiaru czujnika „2” dla rozkładu normalnego



Rys. 9. Niepewności pomiaru czujnika „2” dla rozkładu t-Studenta

Czujnik „2” pracuje jednakowo w całym badanym zakresie częstotliwości, co pokazują wykresy niepewności dla rozkładu normalnego. W przypadku rozkładu t-Studenta zanotowano dwukrotny wzrost wartości niepewności typu B i w związku z tym także niepewności łącznej dla częstotliwości 10 kHz i 20 kHz.

Ocenę dokładności pomiarów grubości powłok można realizować również dla pomiarów wykonywanych w ramach zajęć dydaktycznych laboratoryjnych z metrologii elektrycznej. Po wykonaniu badań studenci mogą wykorzystać komputerowe metody obliczeniowe do oceny dokładności i wykreślenia wykresów pokazujących w sposób graficzny przeprowadzone pomiary. Układ pomiarowy został wykonany w programie DasyLab, który jest dość uniwersalnym systemem pozwalającym na budowę układów pomiarowych z bloków funkcjonalnych na ekranie komputera PC [5, 6]. Także proces pomiarowy można bezpośrednio zmieniać i kontrolować za pomocą narzędzi wbudowanych w pakiet programowy. Pomiary takie, dzięki oprogramowaniu DasyLab, można wykonywać nie tylko na zajęciach dydaktycznych, ale też przeprowadzać ich symulację bez dostępu do fizycznego układu pomiarowego [7]. Umożliwia to wcześniejsze sprawdzenie poprawności działania i wprowadzenie poprawek już na etapie projektowania takiego układu pomiarowego [8].

Projektowanie modeli symulacyjnych często wykorzystywane jest w kształceniu technicznym na poziomie szkoły wyższej o profilu technicznym do oceny i weryfikacji skuteczności tej metody nauczania na uczelni technicznej [9, 10, 11]. Symulacja ma zastosowanie wszędzie tam, gdzie problematyczne może być wykonywanie pomiarów i badań w rzeczywistym środowisku przemysłowym, a także wtedy, gdy zależy nam na w miarę szybkiej weryfikacji różnych koncepcji układów badawczych [12, 13, 14, 15].

Podsumowanie

1. Aby ograniczyć wpływ zmian indukcyjności przetwornika, pomiary wykonano dla częstotliwości nie większej niż 20 kHz, gdyż w tym zakresie częstotliwości indukcyjność w zasadzie ma stałą wartość.
2. Ze względu na to, że głębokość wnikania sygnału pomiarowego do badanej warstwy na podłożu ferromagnetycznym maleje wraz ze wzrostem częstotliwości, należy dostosować częstotliwość i amplitudę sygnału do każdej próbki w sposób indywidualny, aby dokładność pomiaru była jak największa.
3. Wartości niepewności dla obu czujników są większe w przypadku rozkładu t-Studenta niż niepewności dla rozkładu normalnego.
4. Niepewnością dominującą jest niepewność typu B, opisująca błędy, których źródłem są błędy aparatury pomiarowej.
5. Niepewność osiąga największą wartość przy częstotliwości sygnału pomiarowego 20 kHz.
6. Wskazania badanych modeli czujników są najbardziej dokładne dla częstotliwości sygnału pomiarowego nieprzekraczających 15 kHz.
7. Czujnik „2” posiada stabilne właściwości dla szerokiego zakresu częstotliwości.
8. Czujnik „1” posiada zalety czujnika „2” w szerokim zakresie częstotliwości sygnału zasilającego przy mniejszej dokładności, lecz ma znacznie większy rozrzut wyników pomiarowych.

Literatura

- [1] Lewińska-Romicka A., Pomiary grubości powłok, Biuro Gamma, Warszawa 2001.
- [2] Bronkiewicz A., Ptak P., Wybrane aspekty metrologiczne metody pomiaru grubości warstw wierzchnich na podłożach ferromagnetycznych. Materiały V Krajowej Konferencji PES-5 Postępy w Elektrotechnice Stosowanej, Zakopane-Kościelisko 20-24 czerwca 2005, s. 283–290.
- [3] Łapiński M., Pomiary elektryczne i elektroniczne wielkości nieelektrycznych, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1974.
- [4] Janiczek R., Elektryczne miernictwo przemysłowe, Wydawnictwa Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2006.
- [5] Prauzner T., Ptak P., Analiza parametrów pracy wybranych czujników pola magnetycznego, Przegląd Elektrotechniczny, R. 90, nr 12/2014, s. 273–276, ISSN 0033-2097.

-
- [6] Ptak P., Prauzner T., Badania czujników detekcji zagrożeń w systemach alarmowych, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2013, nr 10, s. 274–276, ISSN 0033-2097.
 - [7] Prauzner T., Zakłócenia elektromagnetyczne w elektronicznych systemach alarmowych, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2012, s. 205–208, ISSN 0033-2097.
 - [8] Ptak P., Borowik L., Dobór częstotliwości i rodzaju sygnału czujnika indukcyjnego na potrzeby pomiaru grubości wielowarstwowych powłok ochronnych, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2012, nr 12b, s. 245–247, ISSN 0033-2097.
 - [9] Noga H., Metody socjometryczne w edukacji techniczno-informatycznej, *Trendy ve vzdělávání 2009, Informační technologie a technické vzdělávání*, Olomouc 2009, s. 165–169. ISBN 978-80-7220-316-1.
 - [10] Depesova J., Vargova M., Noga H., Edukacja techniczno-informatyczna w opinii nauczycieli, *Uniwersytet Pedagogiczny, Kraków 2008*, s.149–157.
 - [11] Noga H., Sociometric methods in technological and information technology education. *Trends in Education. Olomouc 2009, Information technologies and technical education*, Vol. 1, p. 165–169.
 - [12] Noga H., Kowalska A., Kowalski P., Sobczyk W., Sobczyk E.J., Logistyka transportu strategicznych surowców do przedsiębiorstwa – studium przypadku (Transport logistics of strategic raw materials to the company – a case study), *Logistyka*, nr 4/2015, dod. CD nr 3, 9238–9244.
 - [13] Noga H., Piaskowska-Silarska M., Depešová J., Pytel K., Migo P., Neuro didactic perspective of creative attitude towards education in the third millennium – examination of individual cases, p. 355–360.
 - [14] Noga H. Piaskowska-Silarska M., Depešová J., Pytel K., Migo P., Examination of the theta index during solving IT issues, p. 361–366.
 - [15] Noga H., Piaskowska-Silarska M., Depešová J., Pytel K., Migo P., The Use of Filtration Theory for Performance Optimization of Volume, *Applied Mechanics and Materials*, No. 3/2015, p. 616–621.