

Piotr LESIAK¹

WIRTUALNE SYSTEMY POMIAROWO - DIAGNOSTYCZNE W APLIKACJACH TRANSPORTU KOLEJOWEGO

W pracy przedstawiono zasady tworzenia wirtualnych systemów pomiarowo – diagnostycznych oraz pokazano autorskie aplikacje w środowisku VEE Pro zaprojektowane dla potrzeb transportu kolejowego. Zaprezentowano wirtualne systemy do diagnostyki testowej wad kontaktowo – naprężeniowych w szynach metodą laserową oraz do diagnostyki funkcjonalnej spokoju biegu pociągu opartej o pomiar wibracji. Wykazano zalety takich rozwiązań w porównaniu do tradycyjnych.

VIRTUAL DIAGNOSTIC-MEASURING SYSTEMS AND THEIR APPLICATION IN RAILWAY TRANSPORT

The paper presents rules of creation of virtual diagnostic-measuring systems and projects being developed by the author with the help of VEE Pro environment for railway transport need. Virtual systems for test diagnostic of contact-stress flaws using laser method and systems for diagnostic of quietness of train movement basing on vibration measurement have been shown. Advantages of these solutions towards traditional methods have been shown.

1. WSTĘP

System wirtualny to połączenie sprzętu pomiarowego nowej generacji z komputerem i przyjaznym dla użytkownika oprogramowaniem, które umożliwia użytkownikowi współpracę z komputerem taką samą, jak przy obsłudze tradycyjnego urządzenia autonomicznego [14]. W tych systemach realizacja sprzętowa pewnych funkcji zastąpiona jest odpowiednim oprogramowaniem wykonywanym przez tradycyjny komputer. Dotyczy to głównie obsługi systemu oraz realizacji algorytmów przetwarzania wyników i ich prezentacji. Zmiana oprogramowania jest tańsza i szybsza niż konstrukcja nowego urządzenia. Stanowi to niewątpliwą zaletę systemów wirtualnych, gdyż stwarzają one możliwość wypełniania przez tę samą część sprzętową (komputer z układami pomiarowymi) różnych funkcji. Zaimplementowane w komputerze oprogramowanie umożliwia stworzenie przyjaznego dla użytkownika interfejsu graficznego systemu (GUI-ang. *Graphical User Interface*) na ekranie monitora [2].

¹ Politechnika Radomska, Wydział Transportu i Elektrotechniki; 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29.
Tel: + 48 48 361-77-09, E-mail: p.lesiak@pr.radom.pl

W przedstawionych aplikacjach z transportu kolejowego, zastosowano środowisko programowe VEE Pro, wykorzystywane przez autora w laboratorium Aparatury Diagnostycznej Wydziału Transportu i Elektrotechniki Politechniki Radomskiej [10]. Praca w tym środowisku odbywa się w dwóch oknach: w oknie edytora wybiera się z menu odpowiednie obiekty i łączy się je zgodnie z kierunkiem przejścia sygnałów a następnie naznaczone obiekty przenosi się na drugie okno – panel, tworząc interfejs graficzny. Część sprzętową zaprezentowanych systemów oprócz komputera stanowią układy pomiarowe zrealizowane w postaci kart pomiarowych DAQ (ang. *Data Acquisition*) umieszczonych w jego obudowie, albo przyrządy autonomiczne połączone z komputerem interfejsami GPIB

(ang. *General Purpose Interface Bus*) lub RS - 232 [2], [3] i [10]. Oprogramowanie systemu do komunikacji z tymi urządzeniami, używa programów obsługi urządzeń, tzw. sterowników (ang. *driver*). Środowisko VEE Pro zawiera biblioteki sterowników dla urządzeń pochodzących z tej samej firmy (Agilent, HP), lub też kompatybilnych (np. Tektronix). Wprowadzono też standaryzację obsługi urządzeń pomiarowych wchodzących w skład systemu, czego przykładem może być standard SCPI (ang. *Standard Commands for Programmable Instruments*) [10], włączony do normy IEE-488.2 (obsługującej np. interfejs GPIB) jako warstwa programowa. Zgodne z tym standardem urządzenia pomiarowe programuje się jednakowymi komendami, co wykorzystano w tej pracy.

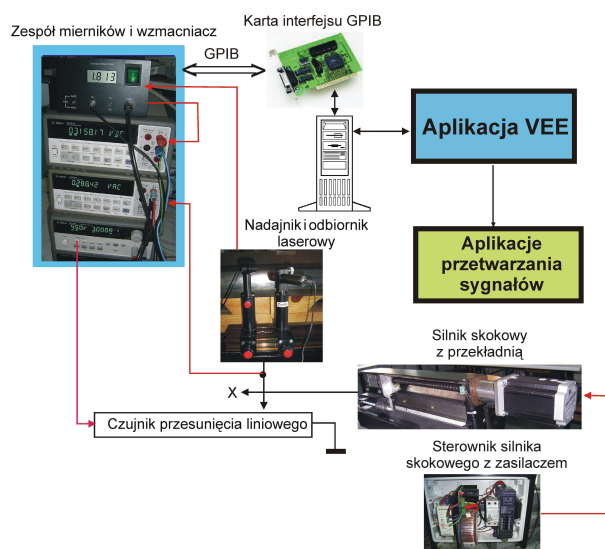
Takie rozwiązania przyjęto w systemach pomiarowo – diagnostycznych opracowanych dotychczas przez autora w środowisku VEE Pro, czego przykładem są wibracyjne badania dynamiki podtorza [4], [5] i [12] i detekcja płaskich miejsc na obręczach kół wagonowych metodą impedancyjną [5]. W ostatnim przypadku była to wirtualna symulacja modelu fizycznego procesu diagnostycznego (bez sprzętu pomiarowego) [2], co jest znacząco tańsze, pod warunkiem pełnej wiarygodności modelu.

W artykule pokazano dwie nowe wirtualne aplikacje do diagnostyki szyn i taboru kolejowego. Pierwsza to w pełni zautomatyzowany system badawczy czujnika laserowego do pomiarów i oceny wad kontaktowo - naprężeniowych typu *head checking* [11]. Druga aplikacja diagnostyczna wykorzystuje pomiary przyspieszeń pudła wagonu, dokonując obliczeń i oceny wskaźnika spokojności biegu pociągu w środowisku VEE Pro.

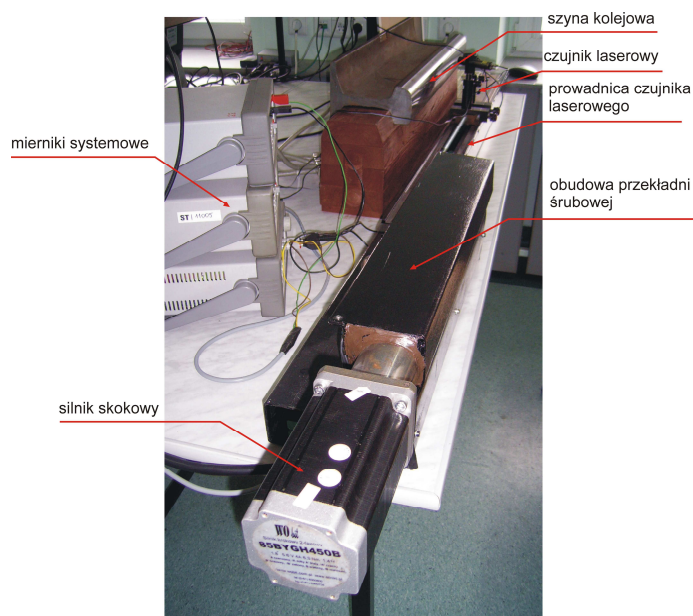
2. WIRTUALNY SYSTEM CZUJNIKA LASEROWEGO DO BADANIA WAD KONTAKTOWO – NAPRĘŻENIOWYCH W SZYNACH KOLEJOWYCH

Oryginalny wirtualny system diagnostyki testowej oparty na rozproszeniu wiązki skoncentrowanego światła diody laserowej od wad kontaktowo - naprężeniowych na powierzchni tocznej główki szyny, mający być alternatywa do badań ultradźwiękowych [9], uruchomił i przebadał autor w warunkach laboratoryjnych [11]. Jego konfigurację przedstawia rys. 1, a rzeczywisty widok fragmentu systemu, rys. 2. Obiektem badań były odcinki szyn z wadami *head checking*, wyjęte z toru kolejowego [7] i [8]. Źródło światła (nadajnik) stanowiła dioda laserowa, generująca ślad świetlny na szynie [1]. Jako odbiornik światła rozproszenia wykorzystano diodę typu PIN ze wzmacniaczem. Zespół nadajnik – odbiornik (dioda laserowa – dioda PIN), sprzęgnięty mechanicznie z potencjometrycznych liniowym czujnikiem przemieszczenia, przesuwa się po prowadnicy, wzdłuż szyny X, rys. 2. Do tego celu wykorzystano napęd zbudowany na bazie silnika krokowego z precyzyjną przekładnią śrubową.

Do pomiaru zastosowano systemowe przyrządy firmy Agilent, które komunikują się z komputerem za pośrednictwem karty interfejsu GPIB [2] i [3]. I tak, do zasilania potencjometrycznego czujnika położenia, służy zasilacz typu 36640. Pomiar przesunięcia mierzy wyskalowany w jednostkach długości multimetr typu 34401A, [10]. Inny tego samego typu multimetr rejestruje amplitudę sygnału z odbiornika (wzmacniacza) diody PIN.



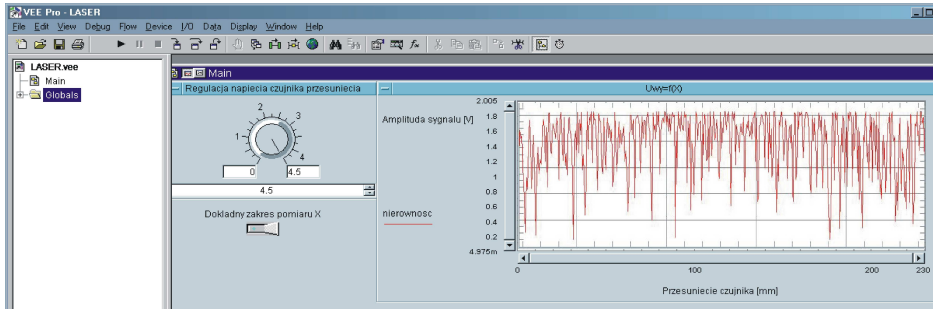
Rys. 1. Konfiguracja wirtualnego systemu czujnika laserowego



Rys. 2. Widok podzespołów systemu czujnika laserowego

Bardzo istotna jest właściwa regulacja zespołu nadajnik – odbiornik, ich odległości od główki szyny, miejsca odbicia wiązki lasera i kątów „patrzenia” na szynę. Dokonuje się tego eksperymentalnie, tak, żeby uzyskać jak najlepszą czułość rozproszenia światła na ukośnych pęknięciach wad *head checking*, przy jednoczesnym niewielkim wpływie nierówności nieuszkodzonej powierzchni główki szyny.

Komputer systemu wykorzystuje wirtualną aplikację pomiarową LASER utworzoną w zintegrowanym graficznym środowisku programowym VEE Pro, której fragment panelu przedstawiono na rys. 3 [11].



Rys. 3. Fragment panelu aplikacji w VEE Pro do pomiaru światła rozproszenia lasera

W przykładzie pokazanym na rys. 4, przedstawiono jedną z aplikacji przetwarzania sygnałów wchodząca w skład systemu, rys. 1, na odcinku szyny z wadami *head checking*, gdzie sygnał (górne okno panelu) uzyskano poprzez aproksymację otrzymanych próbek. Aplikacja wykorzystuje dyskretną transformatę Fouriera DFT, która przekształca skończony ciąg próbek tego sygnału a_0, a_1, \dots, a_{N-1} , $a_i \in \mathfrak{R}$ w ciąg harmonicznych A_0, A_1, \dots, A_{N-1} , $A_i \in \mathfrak{S}$ zgodnie ze wzorem:

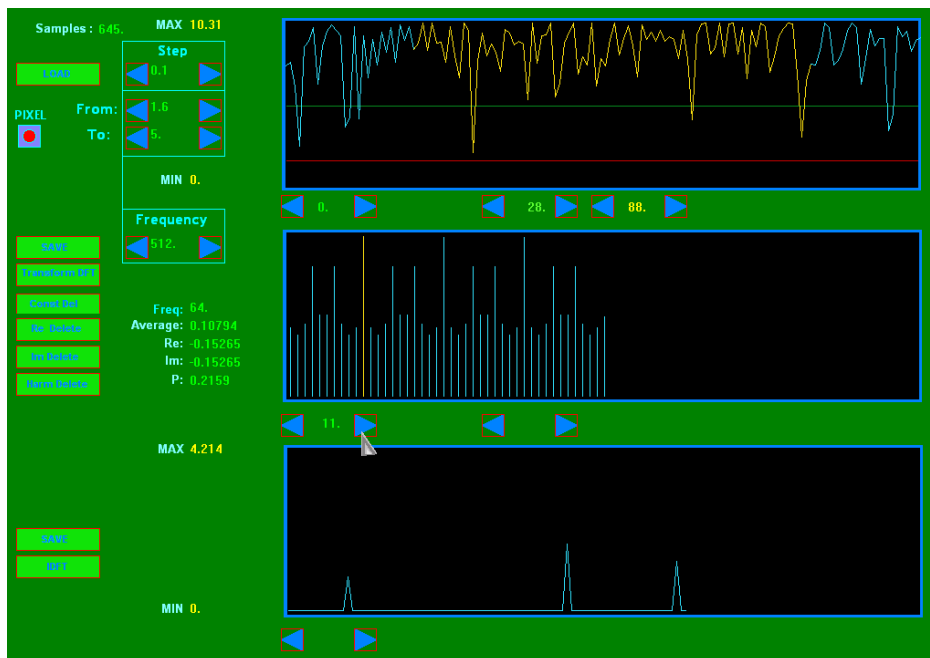
$$A_k = \sum_{n=0}^{N-1} a_n w_N^{-kn}, \quad 0 \leq k \leq N-1 \quad (1)$$

gdzie: $w_N = e^{j\frac{2\pi}{N}}$, k – numer harmonicznej, n – numer próbki sygnału, a_n – wartość próbki sygnału, N – liczba próbek, j – jednostka urojona.

Odwrotne przekształcenie (dolne okno z rys. 4) opisuje wyrażenie:

$$a_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} A_k w_N^{kn}, \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (2)$$

Aplikacja po wprowadzeniu próbek z pliku tekstowego zarejestrowanych przez program VEE Pro między innymi umożliwia: bramkowanie fragmentu sygnału do analizy (rozjaśniony - żółty), ustawienie progu przetwarzania sygnału (eliminacja szumów – od góry lub od dołu), wybór częstotliwości próbkowania, edycję widma prążkowego, odczyt parametrów poszczególnych harmonicznych, wykonanie transformaty odwrotnej oraz ponowne zapisanie wyników w trybie tekstowym. W panelu aplikacji z rys. 4, po dokonaniu w/w operacji na badaniach odcinka szyny, uzyskano trzy echa od wad *head checking* zakwalifikowanych jako niebezpieczne.



Rys. 4. Prezentacja sygnałów od wad head checking poddanych dyskretnej transformacji Fouriera w badaniach szyn czujnikiem laserowym

Inne aplikacje przetwarzania sygnałów z systemu wirtualnego czujnika laserowego korzystające z transformaty falkowej, logiki rozmytej czy też analizy fraktalnej, zostaną przedstawione w kolejnych pracach autora.

2. WIRTUALNY SYSTEM WSKAŹNIKA SPOKOJNOŚCI BIEGU POCIĄGU

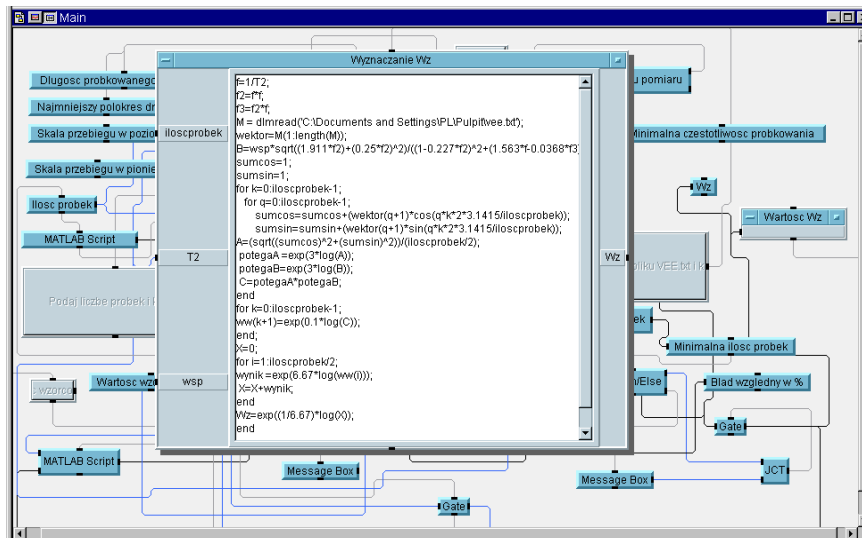
Ocenę spokojności biegu pociągu w odniesieniu do drgań poziomych i poprzecznych, spowodowanych wężkowaniem zestawów kołowych lub wózków w czasie jazdy po torze o dobrej a czasami bardzo dobrej jakości geometrycznej, dokonuje się na podstawie pomiarów składowych przyspieszenia pudła wagonów. W efekcie wyznaczany jest tzw. wskaźnik spokojności biegu W_z Sperlinga (zakres zmian 2-5), uwzględniający oddziaływanie drgań na organizm ludzki (zależy od intensywności zmiany przyspieszenia i energii drgań) [6],[13]:

$$W_z = 0,896^{6,67} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T F^{-1}[A(j\omega)]^2 dt} \quad (3)$$

gdzie: $A(j\omega)$ - widmo sygnału wejściowego przyspieszeń skorygowane przez filtr kształtujący, tj. $A(j\omega) = a(j\omega) \cdot B(j\omega)$, $a(j\omega)$ - widmo sygnału przyspieszeń, $B(j\omega)$ - transmitancja widmowa filtra kształtującego, ω - pulsacja

Przekroczenie dopuszczalnej górnej wartości W_z grozi wykolejeniem. Jest to typowa diagnostyka funkcjonalna, do realizacji której stworzono wirtualną aplikację systemu w środowisku VEE Pro. Korzysta ona z zarejestrowanych próbek amplitud składowych przyspieszeń. Stosuje się do tego celu specjalizowany przyrząd wyposażony w dwa akcelerometry (dla kierunku pionowego i poziomego - poprzeczny do toru), wzmacniacze i filtry oraz komputerową kartę pomiarową DAQ. Program wymaga wprowadzenia długości zarejestrowanego przebiegu drgań, najmniejszego półokresu drgań i na tej podstawie oblicza minimalną liczbę próbek, jakie są potrzebne do poprawnego obliczenia wskaźnika W_z (zgodnie z twierdzeniem Shannona - Kotelnikowa). W programie zastosowano blokadę obliczeń w przypadku nie spełnienia tego warunku.

Obliczeń W_z dokonuje obiekt Matlab Script (wbudowany w VEE Pro), na podstawie wartości amplitud przyspieszeń wagonu zapisanych w pliku tekstowym SPOKO.TXT, rys. 5. Obiekt ten pobiera również dane dotyczące liczby próbek zadeklarowanych przez użytkownika, oznaczono T2 oraz współczynniki potrzebne do obliczenia W_z (wagonu osobowego) – dla kierunku pionowego 0,588 a dla kierunku poziomego 0,737. W dalszej kolejności obliczana jest transformata Fouriera DFT i wskaźnik W_z .



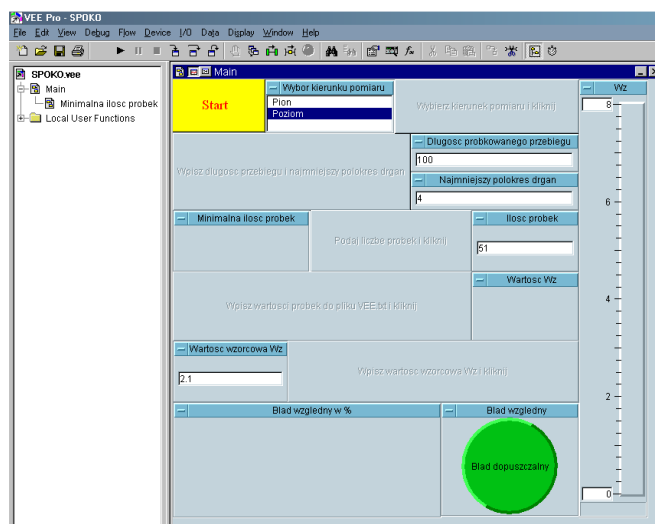
Rys. 5. Okno Matlab Script z programem obliczającym wskaźnik spokojności biegu W_z

Panel wirtualnego systemu składa się z sekwencji okien do wpisywania danych oraz dwóch wyświetlaczy obrazujących wynik pomiaru i dwóch sygnalizujących błąd względny pomiaru i jego przekroczenie, rys. 6 i 7a. Na podstawie wartości wzorcowej W_{zo} (odczytanej z przyrządu) i obliczonej przez program W_z , błąd ten wyznacza się z wyrażenia:

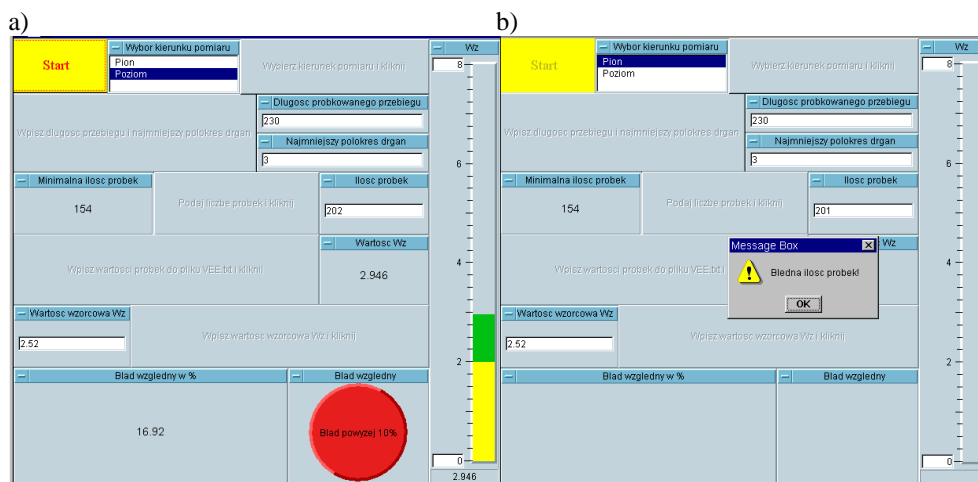
$$\delta_x = \frac{|W_{zo} - W_z|}{W_{zo}} 100\% \quad (4)$$

Program prowadzi użytkownika „za rękę” – po każdej sekwencji, np. wyborze kierunku pomiaru, podświetla się kolejny przycisk z instrukcją, które dane należy wprowadzić. Po uzupełnieniu żądanych danych i przyciśnięciu aktywnego przycisku, program sprawdza ich poprawność i gdy są zgodne z wymaganiami formalnymi (np. ilość próbek jest nie mniejsza od minimalnej) przechodzi do kolejnej sekwencji żądając podania kolejnych parametrów. Jeśli któreś z podanych parametrów są niezgodne z zadeklarowaną wartością lub mają niewłaściwy charakter, działanie programu zostanie przerwane i zasygnalizowany błąd odpowiednim komunikatem w pojawiającym się oknie Message Box, rys. 7b.

Duże znaczenie dla poprawności działania aplikacji ma kolejność przepływu informacji w programie. W VEE Pro większość bloków poza wejściem i wyjściem danych, ma również wejścia i wyjścia sekwencyjne, które umożliwiają sterowanie kolejnością wykonywania komend. Wykonanie konkretnego polecenia może być wstrzymane do czasu uruchomienia go przez podanie sygnału na wejście sekwencyjne jak również blok może wstrzymywać dalsze wykonanie obliczeń do czasu wykonania swojego zadania przez aktywację wyjścia sekwencyjnego.



Rys. 6. Okno pomiarowe aplikacji wskaźnika W_z



Rys. 7. Przykłady zobrazowania okna pomiarowego panelu w aplikacji wskaźnika W_z

3. WNIOSKI

Projektowanie wirtualnych systemów pomiarowo – diagnostycznych wykorzystujących środowiska programowe (w pracy VEE Pro) do diagnozowania obiektów kolejowych, zdaniem autora jest niezwykle wygodne i funkcjonalne, ze względu na dużą elastyczność wprowadzanych zmian. Nie wymaga też od projektanta wysokich umiejętności informatycznych, a wirtualny panel pozwala na wygodną obsługę. Przytoczone w pracy przykłady jednoznacznie o tym świadczą. Szczególnie takie podejście jest wygodne na etapie doświadczeń i badań laboratoryjnych i stanowi „forpocztę” docelowych rozwiązań systemowych.

4. LITERATURA

- [1] Ziętek B.: Lasery. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, wydanie 2, Toruń 2009.
- [2] Lesiak P.: *Inteligentna technika pomiarowa*. Wyd. Politechniki Radomskiej, Radom 2001.
- [3] Lesiak P., Świsulski D.: *Komputerowa technika pomiarowa w przykładach*. Agenda Wydawnicza Pomiary Automatyka Kontrola, Warszawa 2002.
- [4] Lesiak P., Łożyński R.: *Wirtualny system pomiarowy w badaniach diagnostycznych nawierzchni kolejowej*. Materiały VII Seminarium Diagnostyki Nawierzchni Szynowych, Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Inżynierii Kolejowej, Gdańsk – Łeba, 2005, s. 191-200.
- [5] Lesiak P.: *Virtual Instruments and Measurement: Diagnostic Systems in Railway Transportation. Part 2. Diagnostics of the wheels surface on the rail track*. The Archives of Transport, No 2, Vol. XVIII, 2006, s.37-52.
- [6] Lesiak P.: *Laboratorium aparatury pomiarowo-diagnostycznej. Cz. 1, Aparatura w transporcie kolejowym*. Wyd. Politechniki Radomskiej, Wyd. 2. Radom 2007.

- [7] Lesiak P.: *Diagnostic sensitivity of ultrasonic mobile flaw detection of head checking type flaws in railway rails*. Diagnostyka No 2(46) 2008, s. 37-40.
- [8] Lesiak P.: *Mobilna diagnostyka szyn w torze kolejowym*. Monografia nr 116, Wyd. Politechniki Radomskiej, Radom 2008.
- [9] Lesiak P.: *Diagnostic technology of contact-stress flaws such as head checking in railway rails*. Monograph No 121, Technical University of Radom, 2008, s. 187 – 198.
- [10] Lesiak P., Gołąbek P.: *Laboratorium aparatury pomiarowo-diagnostycznej. Cz. 2, Komputerowe systemy pomiarowo - diagnostyczne*. Wyd. Politechniki Radomskiej, Wyd. 3 , Radom 2009.
- [11] Lesiak P.: *Inteligentne czujniki pomiarowo - diagnostyczne w aplikacjach transportu kolejowego. Etap II. Kontynuacja budowy stanowiska badawczego z inteligentnym czujnikiem do pomiarów wad kontaktowo – naprężeniowych w szynach kolejowych metodą laserową*. Politechnika Radomska temat nr 19399/47/P, Radom 2009.
- [12] Towpik K.: *Infrastruktura drogi kolejowej. Obciążenia i trwałość nawierzchni*. Monograficzna seria wydawnicza Biblioteki Problemów Eksploatacji. Wyd. Instytut Technologii Eksploatacji, Radom 2006.
- [13] Zajęcki E.: *Spokojność biegu wagonów towarowych i pasażerskich przy większych prędkościach jazdy*. Trakcja i Wagony nr 10/1988.