

## KOMPUTEROWY SYSTEM POMIAROWY STANOWISKA DO BADAŃ PROCESU ŁADOWANIA ŁYŻKĄ ŁADOWARKI JEDNONACZYNIOWEJ

*W artykule omówiony został komputerowy system pomiarowy stanowiska laboratoryjnego do badania procesu ładowania łyżką ładowarki jednonaczyniowej. Przedstawiono możliwości badawcze stanowiska pomiarowego oraz potencjalne możliwości rozwoju. Scharakteryzowano opracowany w środowisku LabVIEW program pomiarowy umożliwiający realizację złożonych zadań pomiarowych przy pomocy urządzeń różnych producentów.*

### WSTĘP

Proces ładowania łyżką ładowarki jednonaczyniowej to zagadnienie złożone, którego przeprowadzenie w optymalny sposób wymaga uwzględnienia całego szeregu zjawisk związanych z: własnościami i ukształtowaniem materiału urabianego, parametrów trakcyjnych (mobilności) i możliwości osprzętu roboczego maszyny roboczej oraz umiejętności operatora. Na potrzeby testowania algorytmów optymalnej realizacji procesu urabiania łyżką ładowarki jednonaczyniowej w Laboratorium Katedry Inżynierii Maszyn Roboczych i Pojazdów Przemysłowych zbudowano, wykorzystując doświadczenia zdobyte w czasie realizacji wcześniejszych prac badawczych [np.: 1, 2, 3, 4], stanowisko badawcze umożliwiające badanie procesu ładowania w szerokim zakresie parametrów eksploatacyjnych maszyny. Z uwagi na dużą ilość wielkości mierzonych stanowisko zostało wyposażone w komputerowy system pomiarowy umożliwiający konfigurację, akwizycję, wizualizację i archiwizację wszystkich wielkości mierzonych.

### 1. STANOWISKO DO BADAŃ PROCESU ŁADOWANIA ŁYŻKĄ ŁADOWARKI JEDNONACZYNIOWEJ

Zbudowane w Laboratorium Inżynierii Maszyn Roboczych i Pojazdów Przemysłowych stanowisko pomiarowe [5], z uwagi na swoją budowę, ma duży potencjał badawczy i umożliwia przeprowadzanie szeregu testów, nie tylko tych związanych z procesem ładowania łyżką, ale również wszystkich takich, które podczas badania pojazdu wymagają identyfikacji reakcji normalnych na jego kołach.

#### 1.1. Budowa stanowiska

Przedstawione na rysunku 1 stanowisko badawcze ma modułową budowę. Składa się on z:

- Ładowarki Avant 218 - maszyna kołowa, przegubowa, wyposażona standardowo w hydrostatyczny układ napędowy jazdy i osprzętu roboczego. Do celów badawczych została wyposażona w szereg przetworników pomiarowych;
- Segmentowego podłoża umożliwiającego identyfikację oddziaływań pomiędzy układem jezdnym a podłożem; każdy z czterech segmentów jest „podłoga” dla jednego z kół pojazdu przemysłowego;
- Otwartego naczynia umożliwiającego spiętrzanie materiału urabianego w pryzmę o pożądanym kształcie (w miarę potrzeb

jest możliwe powiększenie objętości naczynia poprzez zmianę wysokości ścian).



Rys. 1. Stanowisko do badania procesu ładowania łyżką ładowarki z ładowarką łyżkową Avant 218

#### 1.2. Układ pomiarowy stanowiska laboratoryjnego

Struktura układu pomiarowego stanowiska odzwierciedla jego modułową budowę. Poszczególne komponenty tego układu są zabudowane w segmentowym podłożu oraz na ładowarce Avant 218. Na rysunku 2 przedstawiono graficznie wielkości mierzone przy użyciu poszczególnych komponentów układu:

- Każdy z czterech segmentów podłoża, dzięki zabudowanym przetwornikom tensometrycznym umożliwia pomiar reakcji normalnej i stycznej (w kierunku wzdłużnym) podłoża. Zastosowano tutaj typowy układ do ważenia, złożony z układu czujników tensometrycznych połączonych przy pomocy sumatora, a przeprowadzona kalibracja konfiguracja sumatora umożliwia pomiar obciążeń normalnych segmentu przyłożonych w dowolnym miejscu. W układzie pomiarowym przewidziano również możliwość użycia sumatora do zebrania w jednym torze pomiarowym wskazań siły stycznej ze wszystkich 4 segmentów modułowego podłoża;
- Układ roboczy wyposażono w przetworniki przemieszczeń umożliwiające identyfikację położenia wysięgnika i orientacji łyżki. Zastosowano tutaj potencjometryczne przetworniki linkowe - kompaktowa struktura wysięgnika ładowarki Avant 218

bardzo utrudnia użycie innych przetworników, np.: enkoderów absolutnych w poszczególnych parach obrotowych, równie problematyczne byłoby zastosowanie siłowników z zabudowanym przetwornikiem do pomiaru położenia tłoka;

- Zespół do mocowania narzędzi roboczych wykorzystano do zbudowania innowacyjnego przetwornika tensometrycznego do pomiaru wszystkich składowych obciążenia (3 siły i 3 momenty) działających na narzędzie robocze [6];

Przedstawiony na rysunku 2 element pomiarowy, ze względu na swoją złożoną budowę, wymagał zastosowania charakterystyki w postaci macierzowej o wymiarze 6x6, tak aby można było uwzględnić interakcje pomiędzy poszczególnymi składowymi mierzonego obciążenia narzędzia roboczego. Przyjęta postać charakterystyki wymusiła taką realizację procesu skalowania, aby można było wyznaczyć 36 współczynników macierzy ujmujących oprócz współczynników głównych ( $a_{ij}$ , dla  $i=j$ ) również współczynniki wpływu ( $a_{ij}$ , dla  $i \neq j$ ) [7] opisujące interakcje pomiędzy poszczególnymi składowymi obciążeniami (równ. 1).

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & a_{36} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & a_{46} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} & a_{56} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{F_x} \\ U_{F_y} \\ U_{F_z} \\ U_{M_x} \\ U_{M_y} \\ U_{M_z} \end{bmatrix} \quad (1)$$

gdzie:  $[F_x..M_z]$  – wektor obciążeń,  $[a_{11}..a_{66}]$  – macierz współczynników,  $[U_{F_x}..U_{M_z}]$  – wektor sygnałów pomiarowych.

## 2. KOMPUTEROWY SYSTEM POMIAROWY STANOWISKA

W opisywanym stanowisku akwizycja wszystkich sygnałów pomiarowych była pierwotnie realizowana z wykorzystaniem wzmacniaczy pomiarowych QuantumX (modele: MX840B oraz MX1615) firmy Hottinger Baldwin Messtechnik [8] współpracujących

z oprogramowaniem Catman [8], również tego producenta. Z uwagi na przewidywaną rozbudowę możliwości stanowiska o:

- akwizycję kolejnych wielkości mierzonych, np.: poślizg kół, parametry cieczy roboczej układu napędowego jazdy i osprzętu roboczego,
- możliwość sterowania efektorami maszyny z poziomu programu w sposób ręczny, automatyczny lub półautomatyczny w zależności od przyjętej strategii/algoritmu wspomagania pracy operatora,

zdecydowano o zmianie oprogramowania na system mający większy potencjał, zwłaszcza z uwagi na: przewidywane funkcje związane ze sterowaniem efektorami ładowarki (wzmacniacze pomiarowe QuantumX są przeznaczane w zasadzie tylko do akwizycji sygnałów pomiarowych) oraz potrzebę obsługi innych urządzeń pomiarowych lub sterujących (program pomiarowy Catman [8] w bardzo ograniczonym zakresie obsługuje sprzęt pomiarowy innych producentów).

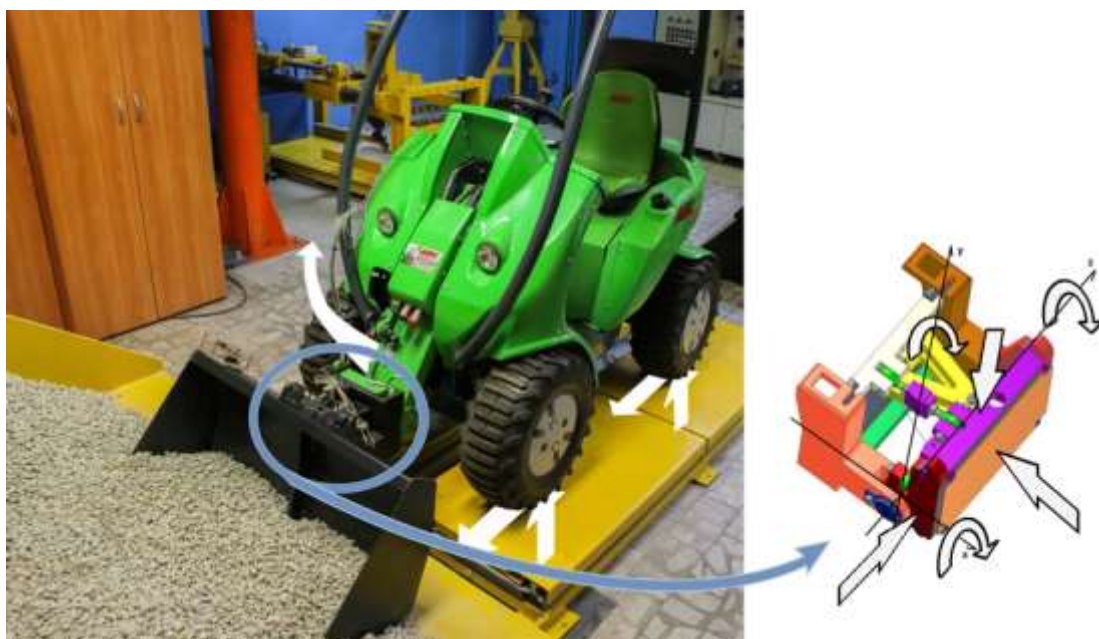
### 2.1. Środowisko LabVIEW

Środowisko LabVIEW firmy National Instruments jest uniwersalnym narzędziem umożliwiającym stosunkowo łatwe tworzenie nawet złożonych programów pomiarowych i sterujących przy wykorzystaniu języka G [9], którego użycie polega na definicji obiektów i funkcji przy pomocy odpowiednich bloków (opisujących funkcje lub urządzenia) i ich połączeniu opisującym sposób przepływu informacji. Dodatkową zaletą środowiska LabVIEW jest jego duża popularność i w konsekwencji możliwość obsługi przez opracowane programy urządzeń różnych producentów, np.: firma Hottinger Baldwin Messtechnik, mimo posiadanego własnego oprogramowania (Catman) udostępnia użytkownikom niezbędne narzędzia do obsługi urządzeń w środowisku LabVIEW.

### 2.2. Program pomiarowy

Na potrzeby realizacji zadań pomiarowych przygotowano w środowisku LabVIEW program umożliwiający realizację wszystkich realizowanych dotąd zadań pomiarowych.

Przewidywane rozszerzenie możliwości pomiarowych stanowiska oraz potrzeba obsługi innych niż wzmacniacze QuantumX [8] urządzeń pomiarowych (i sterujących) wymusiło na twórcach programu otwartą strukturę programu. Było to o tyle łatwe, że środowisko LabVIEW jest zorientowane na tworzenie takich aplikacji.



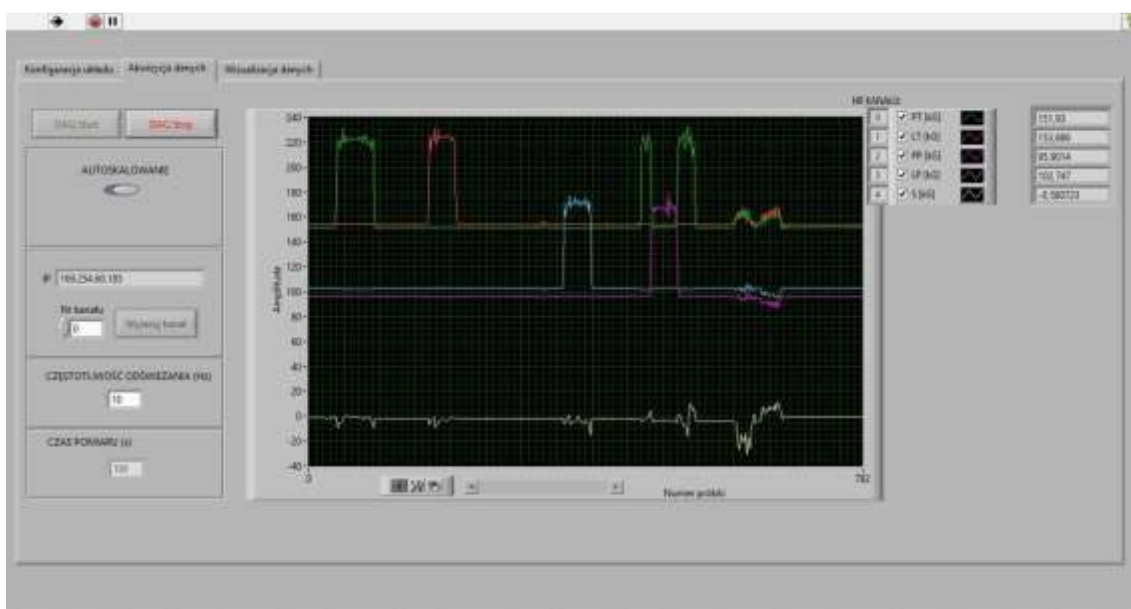
**Rys. 2.** Nowej generacji stanowisko badawcze z pomiarem online niezbędnych wielkości fizycznych w układzie wysięgnika i łyżki oraz jazdy ładowarki i skrętu, wymaganych do identyfikacji optymalnej strategii napełniania łyżki [4]

Dla wygody obsługi programu pomiarowego zdecydowano się na strukturę tzw. „zakładek”, tworzących swojego rodzaju panele do realizacji kolejnych etapów procesu pomiarowego.

Na rysunkach 3-5 przedstawiono przykładowe widoki panelu operatorskiego w zależności od realizowanego etapu prac.



Rys. 3. Panel (zakładka) do konfiguracji urządzeń i poszczególnych torów pomiarowych



Rys. 4. Panel (zakładka) do akwizycji wybranych wielkości mierzonych podczas badań



Rys. 5. Panel (zakładka) z przykładową wizualizacją graficzną do akwizycji wybranych wielkości mierzonych

Opracowana graficzna aplikacja pomiarowa pozwala na kompleksową realizację zadań pomiarowych:

- a) wybór urządzenia i interfejsu komunikacyjnego,
- b) definiowanie interaktywne aktywnych kanałów pomiarowych, a tym samym aktywnych wielkości mierzonych,
- c) możliwość skalowania i zerowania torów pomiarowych,
- d) możliwość wprowadzenia charakterystyk przetworników pomiarowych w celu rejestracji i wizualizacji wartości mierzonych wprost w jednostkach wielkości mierzonych,
- e) wybór zakresu pomiarowego i częstotliwości próbkowania niezależnie dla każdego kanału pomiarowego,
- f) możliwość tworzenia, wizualizacji i archiwizacji kanałów wirtualnych umożliwiających w trybie online uzyskiwanie wyników jako efektów obliczeń dokonywanych na wartościach uzyskiwanych z kanałów pomiarowych fizycznie istniejących,
- g) wizualizację wielkości mierzonych na różne sposoby,
- h) zapis nastaw parametrów konfiguracyjnych podłączonych urządzeń pomiarowych oraz wybranych opcji programu do pliku konfiguracyjnego z możliwością późniejszego wykorzystania bez potrzeby ponownego „ręcznego” konfigurowania,
- i) zapis dowolnie wybranych wielkości mierzonych do pliku.

Przeprowadzone badania laboratoryjne pozwoliły przetestować opracowany program i skorygować drobne błędy aplikacji. Potwierdziły możliwości budowy graficznego środowiska pomiarowego do tworzenia interaktywnych wizualizacji wielkości mierzonych.

Niestety, potwierdzono też przewidywane ograniczenia wynikające z możliwości stosowanych urządzeń pomiarowych, to znaczy wzmacniaczy pomiarowych QuantumX oraz używanego podczas testów prostego komputera.

Wzmacniacze QuantumX mają ograniczone pasmo przeniesienia, co powoduje, że realne częstotliwości próbkowania muszą być ograniczone do kilku kHz, co w przypadku prób dynamicznych nie zawsze jest wystarczające, zwłaszcza gdy przewidywane jest poszerzenie układu pomiarowego o przetworniki do pomiaru parametrów cieczy roboczej hydraulicznego układu napędowego jazdy i osprzętu roboczego używanej ładowarki łyżkowej. Pomiar ciśnienia oraz natężenia przepływu wymagają zwykle dość wysokich częstotliwości próbkowania.

Osobną, ale bardzo ważną kwestią jest komputer używany podczas pomiarów jako jednostka centralna. Przeprowadzone w środowisku Windows testy wykazały, że dla rosnących wymagań odnośnie liczby wielkości mierzonych, co przekłada się na ilość aktywnych torów pomiarowych, rośnie również ilość danych, które muszą zostać przetworzone (wszystkie obliczenia online uwzględniające charakterystyki pomiarowe) zwizualizowane i zapamiętane w tzw. buforze na potrzeby ewentualnej archiwizacji. Wszystko to wymaga komputera o dość mocnym procesorze i dużej ilości pamięci operacyjnej. Autorzy dostrzegli również potrzebę poszerzenia możliwości programu o buforowanie danych w pamięci masowej komputera (np.: szybki dysk twardy), tak aby wielkość bufora w pamięci masowej nie ograniczała ilości danych do zapamiętania podczas dłuższych testów.

## PODSUMOWANIE

Zaprezentowany komputerowy system pomiarowy wykorzystujący oprogramowanie stworzone w środowisku LabVIEW umożliwia

realizację złożonych programów badawczych z wizualizacją i rejestracją wszystkich wielkości mierzonych. Otwarta struktura systemu pozwala na stosunkowo prostą rozbudowę o kolejne elementy: np.: do automatycznego sterowania elementami wykonawczymi osprzętu roboczego i oczywiście zaimplementowanie algorytmów sterowania poprzez rozbudowę przedstawionej aplikacji pomiarowej.

## BIBLIOGRAFIA

1. Lasmanowicz A., Pieczonka K., *Über Ladeprobleme von hochfestigen schwierigen Materialien mit Schaufelladern*, Internationale Fachtagung Baumaschinen, TU Magdeburg 1987.
2. Pieczonka K., Wystouch Z., *Probleme der Automatisierung des Schaufelfüllvorganges am Radlader*, XIII. Internationale Konferenz „Mechanisierung im Erdbau”, Dresden 1988.
3. Dudziński P., Pieczonka K., Wystouch Z., *Automatic systems for steering and controlling bucket loaders, searching for solutions*, Proceedings of the 1st International Conference Off - Road Machines and Vehicles in Theory and Practice, Wrocław 1996.
4. Pieczonka K., Dudziński P., *Bucket loader research in Technical University of Wrocław*, Proceedings of the 1st International Conference Off - Road Machines and Vehicles in Theory and Practice, Wrocław 1996.
5. Dudziński P., Leśniak Ł., *Automatyzacja ładowania i odstawy urobku niezbędnym czynnikiem poprawy bezpieczeństwa i efektywności eksploatacji w podziemnych kopalniach*, III Międzynarodowa Konferencja „Mechanizacja, automatyzacja i robotyzacja w górnictwie”, 15-17 czerwca 2016 r., Wisła 2016
6. Konieczny A., Ruda J., Dudziński P., *Urządzenie do eksperymentalnej identyfikacji składowych sił i momentów*, Zgłoszenie Patentowe P406911
7. Dudziński P., *Niekonwencjonalny przetwornik do pomiaru sił i momentów w parach obrotowych maszyn*, II Konferencja Naukowa Metody Doświadczalne w Budowie i Eksploatacji Maszyn, Wrocław-Szklarska Poręba 1995.
8. Materiały informacyjne firmy Hottinger Baldwin Messtechnik
9. Materiały informacyjne firmy National Instruments

### Computer measurement system of the laboratory stand for testing the loading process of bucket loader

*The article discussed a computer measuring system of laboratory stand for testing the loading process of bucket loader. In the text was presented the possibilities of testing a measuring and potential for development. Characterized developed in LabVIEW measurement program allows implementation of complex measuring tasks with the help of devices from different manufacturers.*

Autorzy:

Dr inż. **Robert Czabanowski** – Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Maszyn Roboczych i Pojazdów Przemysłowych, ul. Łukasiewicza 7/9, 50-371 Wrocław, [robert.czabanowski@pwr.edu.pl](mailto:robert.czabanowski@pwr.edu.pl)

mgr inż. **Łukasz Leśniak** – Politechnika Wroclawska

mgr inż. **Arkadiusz Łabuda** – Politechnika Wroclawska