

Andrzej PIOTROWSKI, Marcin GAJEWSKI, Cezary AJDUKIEWICZ

MODERNIZACJA STANOWISK DYDAKTYCZNYCH W LABORATORIUM WYTRZYMAŁOŚCI MATERIAŁÓW Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMU LABVIEW

Streszczenie

W artykule opisano zmodernizowane stanowiska dydaktyczne wykorzystywane w czasie ćwiczeń laboratoryjnych z Wytrzymałości Materiałów na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej. Modernizacji dokonano poprzez wprowadzenie elektronicznej rejestracji siły w starszych maszynach wytrzymałościowych i stworzenie w środowisku LabVIEW programów komputerowych zbierających dane z różnych urządzeń pomiarowych.

WSTĘP

W artykule opisano zmodernizowane stanowiska dydaktyczne wykorzystywane w trakcie ćwiczeń laboratoryjnych z przedmiotu Wytrzymałość Materiałów na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej. Są to trzy stanowiska służące do prezentacji zagadnienia tensometrii elektrooporowej oraz dwa do badania drewna, jedno przy ściskaniu wzdłuż włókien i drugie przy zginaniu. Zasadniczym elementem tych stanowisk są dwie uniwersalne hydrauliczne maszyny wytrzymałościowe wyprodukowane we wschodnich Niemczech (NRD) w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku i zmodernizowane w roku 2014 przez firmę ZEPWN. Do pomiarów przemieszczeń wykorzystano niezależne czujniki firmy PELTRON. Sygnały ze zmodernizowanych stanowisk przekazywane są do komputera przez urządzenia do akwizycji danych firmy National Instruments. Uzyskane dane pomiarowe są wyświetlane na ekranie i zapisywane do plików tekstowych przy pomocy programów komputerowych stworzonych przez pierwszego z autorów w środowisku programistycznym National Instruments LabVIEW. Ćwiczenia prowadzone są zgodnie ze skryptem [1], którego fragmenty wykorzystano przy opracowywaniu niniejszego tekstu i który zastąpił używany dotychczas skrypt autorstwa Sławomira Wichniacza [2], opracowany w latach 90. ubiegłego wieku.

1. SPRZĘT LABORATORYJNY

1.1. Maszyny wytrzymałościowe

W każdym laboratorium dydaktycznym i naukowym wyższych uczelni w Polsce oprócz nowoczesnego sprzętu pomiarowego i maszyn znajdują się również i urządzenia starsze. Nierzadko jest to sprzęt bardzo wysokiej klasy, często porównywalny lub nawet lepszy od oferowanego przez producentów obecnie, jednak niedostosowany do współczesnych wymagań, przede wszystkim z uwagi na brak komputerowej rejestracji wyników. Wobec faktu, że zadanie, jakie maszyny wytrzymałościowe mają do wykonania, jest w zasadzie wciąż takie samo, jak miało to miejsce w przeszłości, bardzo często bardziej opłacalna od wymiany całego urządzenia jest jego modernizacja polegająca na uzupełnieniu brakujących funkcji, tzn. na zastosowaniu nowoczesnych czujników dostosowanych do współpracy z komputerem i uzupełnieniu układu sterującego o kontrolowany elektronicznie serwozawór.

Taka właśnie sytuacja wystąpiła w przypadku pięciu starszych maszyn wytrzymałościowych znajdujących się na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej. Dwie z nich, w pełni zmodernizowane, w zasadzie niczym nie ustępują nowoczesnym maszy-

nom zakupionym przez Wydział w ostatnich latach i są aktywnie wykorzystywane w różnych badaniach naukowych. Pozostałe trzy przeszły jedynie częściową modernizację i używane są głównie do pokazów dydaktycznych. Ćwiczenia laboratoryjne z Wytrzymałości Materiałów prowadzone są na dwóch z nich, z których jedną pokazano na Rys. 1. Jak wspomniano we wstępie, są to uniwersalne maszyny hydrauliczne wyprodukowane w latach sześćdziesiątych dwudziestego wieku. Zakres pierwszej maszyny, widocznej na wspomnianej fotografii, wynosi około 100 kN (dokładnie 10 T, maszyna powstała przed wprowadzeniem układu SI), zaś drugiej, większej, około 300 kN (dokładnie 30 T). Maszyny te umożliwiają wykonywanie badań rozciągania, ściskania i zginania, są dokładne a przy tym solidnie wykonane, nie posiadały jednak możliwości cyfrowej rejestracji wyników prowadzonych pomiarów ani komputerowego sterowania procesem obciążania. W tym przypadku modernizacja polegała na zamontowaniu nowoczesnych czujników ciśnienia oleju w celu umożliwienia elektronicznej rejestracji siły, nie zmieniono natomiast układu sterującego. Maszyny nie rejestrują również przemieszczenia, które można jednak mierzyć za pomocą zamontowanych w specjalnych uchwytych zewnętrznych czujników indukcyjnych.



Rys. 1. Przykład zmodernizowanej maszyny wytrzymałościowej

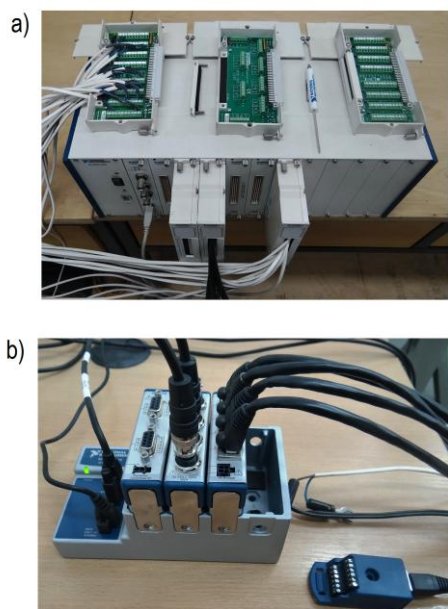
1.2. Sprzęt pomiarowy

W celu pomiaru przemieszczeń wykorzystywane są czujniki indukcyjne polskiej firmy PELTRON, wyprodukowane w latach 80. ubiegłego wieku, wraz z zakupionym w ramach modernizacji nowym i skalibrowanym pod niego wzmacniaczem tej samej firmy generującym sygnał napięciowy 10 V oraz dołączonym do maszyn czujnikiem produkcji NRD, który również został przystosowany do współpracy z nowym wzmacniaczem. Wykorzystywany jest także czujnik laserowy Keyence IL-065, również generujący sygnał dziesięciowol-

towy. Pomiar odkształceń dokonywany jest przy pomocy tensometrów elektrooporowych, pomiar siły natomiast, jak wspomniano w poprzednim punkcie, odbywa się dzięki zamontowanym w układzie hydraulicznym maszyn czujnikom ciśnienia. Czujniki te współpracują z urządzeniem polskiej firmy ZEPWN, określającym na podstawie zmierzonego ciśnienia wartość siły i eksportującym tę wartość w postaci sygnału dziesięciowoltowego.

1.3. Urządzenia do akwizycji danych

Opisany w poprzednim punkcie sprzęt pomiarowy przekazuje sygnały o zmianie mierzonych wielkości w dwóch podstawowych postaciach: czujniki siły i przemieszczenia współpracują z urządzeniami generującymi na wyjściu sygnał napięciowy o amplitudzie napięcia 10 V, natomiast tensometry elektrooporowe wymagają włączenia w mostek Wheatstone'a. W celu przejścia tych sygnałów i przekazania ich w formie cyfrowej do komputera, np. poprzez kabel USB, konieczne jest wykorzystanie urządzenia do akwizycji danych. W naszym laboratorium wykorzystuje się do tego celu dwa systemy wyprodukowane przez firmę National Instruments: SCXI oraz CompactDAQ (cDAQ), przedstawione na Rys. 2.



Rys. 2. Urządzenia do akwizycji danych: a) NI SCXI, b) NI cDAQ

Jak łatwo zauważyć oba systemy bazują na filozofii modułowej, umożliwiając użytkownikowi stworzenie zestawu dopasowanego do jego indywidualnych potrzeb. Moduły nowszego systemu NI cDAQ są dodatkowo lekkie i łatwo wymienne. Oba zestawy współpracują z oprogramowaniem NI DAQ oraz systemem NI LabVIEW (patrz następny punkt).

Wykorzystywany w naszym laboratorium system SCXI składa się z wyposażonej w zasilacz obudowy NI SCXI-1001 oraz następujących modułów:

- SCXI-1600 (moduł sterujący ze złączeniem USB),
- SCXI-1520 (uniwersalny 8-kanalowy mostek tensometryczny) x2,
- SCXI-1314 (wtyczka przyłączeniowa do modułu 1520) x2,
- SCXI-1540 (8-kanalowy moduł do czujników indukcyjnych) x2,
- SCXI-1315 (wtyczka przyłączeniowa do modułu 1540) x2,
- SCXI-1521B (24-kanalowy ćwierćmostek do tensometrów 120Ω) x2,
- SCXI-1317 (wtyczka przyłączeniowa do modułu 1521B) x2.

W czasie ćwiczeń dydaktycznych urządzenie jest wykorzystywane do pomiaru odkształceń w wybranych punktach zginanej belki dwuteowej (patrz punkt 2.4).

Z uwagi na duży ciężar i delikatną budowę urządzenia SCXI, w 2014 roku jako uzupełnienie zakupione zostało niewielkie urządzenie systemu CompactDAQ, na które składają się:

- obudowa cDAQ-9174 (wejście do zasilacza, wyjście USB, miejsce na 4 moduły),
- moduł NI 9218 (2-kanalowy, do zbierania danych z akcelerometrów),
- moduł NI 9215 (4-kanalowy, pomiar napięcia $\pm 10V$),
- moduł NI 9237 (4-kanalowy, pół- lub pełny mostek tensometryczny).

Urządzenie posiada stosunkowo niewiele kanałów, jednak z uwagi na swoją budowę umożliwia łatwe i szybkie przełączanie pomiędzy różnymi stanowiskami dydaktycznymi.

2. PROGRAMY KOMPUTEROWE STWORZONE W ŚRODOWISKU LABVIEW

LabVIEW jest językiem programowania wysokiego poziomu stworzonym przez firmę National Instruments. Charakterystyczną jego cechą, odróżniającą go od innych popularnych języków programowania, jest tworzenie programów przy pomocy specjalnego interfejsu graficznego, umożliwiającego szybką naukę oraz tworzenie skomplikowanych programów nawet przez osoby nie mające doświadczenia programistycznego.

Programowanie odbywa się w dwóch oknach:

- Front Panel (panel czołowy, pulpit) – interfejs użytkownika programu,
- Block Diagram (schemat blokowy) – mający formę graficzną kod programu.

Więcej informacji o LabVIEW można znaleźć np. na stronie internetowej producenta, na organizowanych bezpłatnych szkoleniach oraz w plikach pomocy, w artykule [3], a także w wielu dostępnych w Internecie opracowaniach.

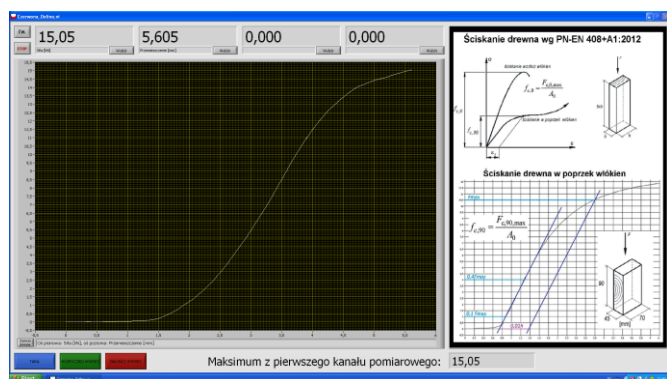
2.1. Program do akwizycji danych „Czerwona Dolina”

Program „Czerwona Dolina” nawiązuje nazwą do programu Bluehill, służącego do obsługi maszyn wytrzymałościowych firmy Instron – jego głównym zadaniem jest bowiem zbieranie danych ze zmodernizowanych maszyn wytrzymałościowych opisanych w punkcie 1.1. Okno programu przedstawione jest na Rys. 3.

Program został stworzony do wykorzystania zarówno w badaniach jak i w pokazach dydaktycznych; z tego powodu użytkownik ma do wyboru dwa sposoby postępowania: ręczne skonfigurowanie zbieranych danych i sposobu ich wyświetlania albo wybór z listy zdefiniowanych ćwiczeń dydaktycznych. W tym drugim przypadku obsługa jest bardzo prosta i nie wymaga dokładnej znajomości wykorzystywanego sprzętu. Kolejne kroki jakie należy wykonać to:

- wciśnięcie przycisku „CW” w lewym górnym rogu;
- wybranie odpowiedniego ćwiczenia z listy rozwijalnej i zatwierdzenie przyciskiem OK;
- umieszczenie próbki w maszynie wytrzymałościowej;
- wciśnięcie niebieskiego przycisku „TARA” powodującego wyzerowanie odczytów;
- wciśnięcie zielonego przycisku „Rozpocznij wykres” i rozpoczęcie obciążania próbki,
- w razie potrzeby zakończenia wykresu przed zakończeniem badania – wciśnięcie czerwonego przycisku „Zakończ wykres”;
- po zakończeniu badania – wciśnięcie przycisku „STOP” w lewym górnym rogu;
- zapisanie danych pomiarowych lub zakończenie bez zapisywania;

- kliknięcie prawym przyciskiem myszy na wykresie, skopiowanie go i zapisanie w pliku graficznym.



Rys. 3. Okno programu „Czerwona Dolina”

W trakcie ćwiczeń laboratoryjnych z wytrzymałości materiałów program jest wykorzystywany dwukrotnie – na pierwszych ćwiczeniach w czasie próby ściskania drewna w poprzek włókien i na drugich ćwiczeniach w czasie próby zginania drewna. Na wyświetlaczach cyfrowych na górze ekranu a także na wykresie pokazywane są wówczas siła i przemieszczenie, natomiast po prawej stronie okna prezentowana jest odpowiednia plansza dydaktyczna. Pole o nazwie „maksimum z pierwszego kanału pomiarowego” potrzebne jest w próbie zginania do określenia maksymalnej siły, jaka wystąpiła w czasie badania. Pokazy wykonywane są z użyciem maszyny wytrzymałościowej o zakresie 10T, przedstawionej na Rys. 1, systemu akwizycji danych NI cDAQ (Rys. 2b) oraz czujników przemieszczenia: dołączonego do maszyny czujnika indukcyjnego w przypadku ściskania i czujnika laserowego w przypadku zginania.

W przypadku ręcznej konfiguracji programu, przed rozpoczęciem badania nie należy wciskać przycisku „CW” – zamiast tego trzeba wybrać, co ma się wyświetlać w każdym polu, klikając lewym przyciskiem myszy na przyciskach sąsiadujących z tymi polami i wybierając odpowiednie opcje w pokazujących się oknach. Ten sposób postępowania wymaga oczywiście znajomości posiadanego sprzętu pomiarowego – jaki sygnał przekazuje oraz jaki ma zakres.

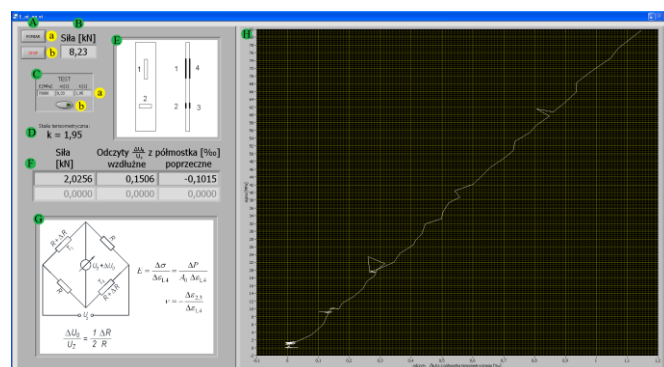
2.2. Program wspomagający badanie osiowego rozciągania z wykorzystaniem tensometrów elektrooporowych – „E_ni”

Program „E_ni” ma za zadanie zbierać dane potrzebne do wykonania ćwiczenia, w którym studenci obliczają moduł Younga i stałą Poissona aluminium na podstawie próby rozciągania próbki z naklejonymi podłużnie i poprzecznie tensometrami elektrooporowymi.

Okno programu przedstawiono na Rys. 4. Poczynając od lewego górnego rogu i posuwając się w dół i na prawo napotykamy następujące elementy: (A) – przyciski sterujące: (a) – przycisk „POMIAR”; (b) – przycisk „STOP”; (B) – odczyt siły w kN; (C) – obszar „TEST” odpowiadający za obliczenia automatyczne: (a) – wartości modułu Younga, liczby Poissona i stałej tensometrycznej; (b) – przycisk uruchamiający obliczenia; (D) – wartość stałej tensometrycznej do obliczeń; (E) – schemat rozmieszczenia tensometrów na odcinku pomiarowym próbki; (F) – tablica na dane pomiarowe; (G) – schemat mostka i wzory do obliczeń; (H) – wykres $\sigma(\Delta U_0/U_2)$.

Badanie wykonywane jest z użyciem maszyny wytrzymałościowej o zakresie 30T i urządzenia do akwizycji danych NI cDAQ (Rys. 2b). Program włączamy po uruchomieniu maszyny i uzyskaniu ciśnienia roboczego w jej układzie hydraulicznym – jest to spowodowane faktem, iż zerowanie wskazań nie jest tutaj wywoływane

oddzielnym przyciskiem, lecz odbywa się automatycznie w momencie uruchomienia programu (należy pamiętać, że określenie siły działającej na próbkę dokonywane jest na podstawie pomiaru ciśnienia).

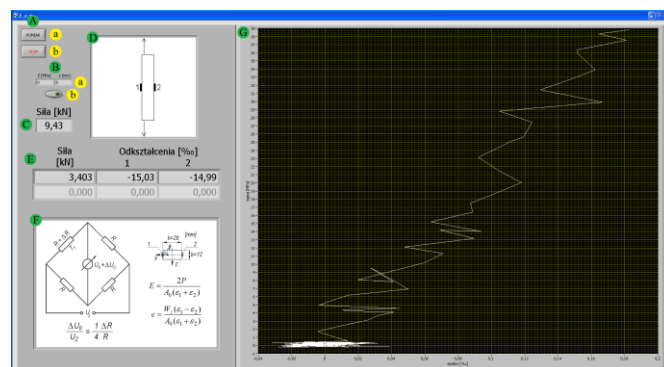


Rys. 4. Okno programu „E_ni”

Obsługa programu polega na dwukrotnym wciśnięciu przycisku „POMIAR” – pierwsze wciśnięcie powoduje uzupełnienie pierwszej wiersza tabeli, drugie – drugiego. Po zakończeniu badania należy nacisnąć przycisk „STOP”. Na podstawie danych zapisanych w tabeli (F) (por. Rys. 4) studenci obliczają moduł Younga i stałą Poissona materiału, z którego wykonana jest próbka.

2.3. Program wspomagający badanie mimośrodowego rozciągania z wykorzystaniem tensometrów elektrooporowych – „E_e”

Program „E_e” ma za zadanie zbierać dane potrzebne do wykonania ćwiczenia, w którym studenci na podstawie odczytów z tensometrów elektrooporowych obliczają moduł Younga stali oraz mimośród rozciąganej próbki. Okno programu przedstawiono na Rys. 5.



Rys. 5. Okno programu „E_e”

Jak łatwo zauważyć, program jest bardzo podobny do opisanego w poprzednim punkcie. Poczynając od lewego górnego rogu i posuwając się w dół i na prawo napotykamy następujące elementy: (A) – przyciski sterujące: (a) – przycisk „POMIAR”; (b) – przycisk „STOP”; (B) – obszar odpowiadający za obliczenia automatyczne: (a) – wartości modułu Younga i mimośrodu; (b) – przycisk uruchamiający obliczenia; (C) – odczyt siły w kN; (D) – schemat rozmieszczenia tensometrów na próbce; (E) – tablica na dane pomiarowe; (F) – schemat mostka, przekrój próbki i wzory do obliczeń; (G) – wykres $\sigma(\epsilon_{sr})$.

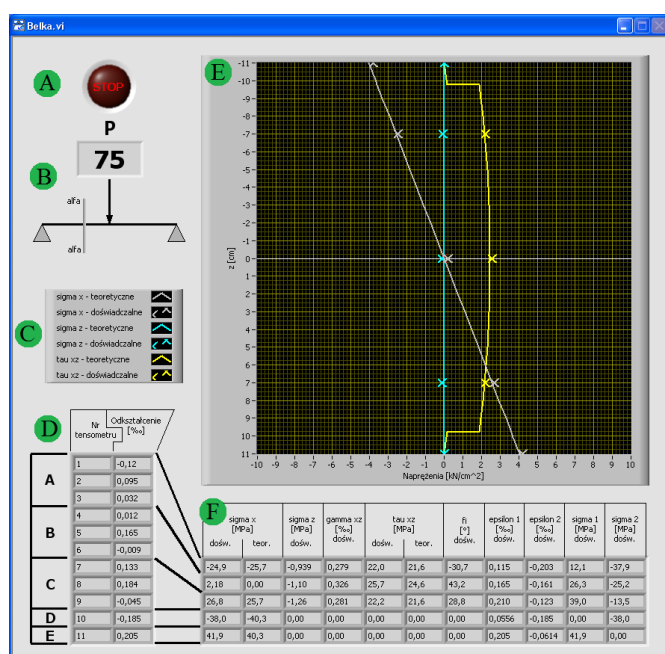
Badanie przebiega dokładnie w ten sam sposób, jak opisane w poprzednim punkcie – jedyna różnica dotyczy zawartości tabeli (E) – w programie E_ni były to odczyty siły i stosunku napięć, w E_e – siły i odkształceń.

Z uwagi na większą sztywność materiału i ten sam zakres siły stosowanej w badaniu błędy w przypadku tego ćwiczenia są większe niż w przypadku ćwiczenia poprzedniego, co wyraźnie widać na załączonych rysunkach. Pozwala to uzmysłowić studentom wady metody siecznej i konieczność stosowania obróbki danych pomiarowych (np. filtrów) oraz rachunku błędów.

2.4. Program „Belka”

Program „Belka” został stworzony do obsługi ćwiczenia, w którym studenci na podstawie pomierzonych odkształceń obliczają przy założeniu liniowego związku Hooke’a naprężenia w wybranych punktach zginanej belki dwuteowej.

Okno programu przedstawiono na Rys. 6. Tradycyjnie już poczynając od lewego górnego rogu i posuwając się w dół i na prawo napotykamy następujące elementy: (A) – przycisk „STOP”; (B) – odczyt siły w kN i schemat belki; (C) – legenda do wykresu; (D) – tablica na odczyty; (E) – wykres naprężeń po wysokości belki; (F) – wyniki obliczeń.



Rys. 6. Okno programu „Belka”

Badanie polega na ciągłym, jednostajnym zwiększaniu siły działającej na belkę aż do osiągnięcia założonej wartości i obserwowaniu powstających wykresów. Wyniki pomiarów i obliczeń zapisywane są automatycznie. Po pokazie studenci przystępują do samodzielnego obliczenia wybranych przez prowadzącego wielkości.

Z uwagi na dużą liczbę wykorzystywanych w badaniu tensometrów (5 punktów pomiarowych, w tym 3 rozety, po każdej stronie belki – łącznie aż 22 czujniki tensometryczne pracujące w układach ćwierćmostkowych) konieczne jest użycie urządzenia do akwizycji danych NI SCXI (Rys. 2a), w odróżnieniu od pozostałych opisanych w tym artykule stanowisk, w których wykorzystywane jest łatwiejsze w obsłudze urządzenie NI CompactDAQ (Rys. 2b).

PODSUMOWANIE

Wykorzystanie środowiska LabVIEW i sprzętu do akwizycji danych umożliwił stosunkowo tanią modernizację starych stanowisk dydaktycznych do współczesnych standardów. Ponieważ urządzenia do akwizycji danych i tak muszą znajdować się w zasadzie w każdym nowoczesnym laboratorium, jedynym praktycznym kosztem takiej modernizacji jest zakup czujników siły do starszych maszyn wytrzymałościowych i ich odpowiednia kalibracja. W stosunku do kosztów stworzenia od podstaw nowego stanowiska na bazie nowej maszyny jest to znacząca różnica. Równocześnie ze względu na możliwość stosunkowo łatwego samodzielnego przygotowywania oprogramowania rezultaty takiej modernizacji zależą w zasadzie wyłącznie od pracowników uczelni, którzy nie są ograniczani przez ofertę firm dostarczających gotowe rozwiązania i mogą wykorzystywać sprzęt już posiadany, nawet jeśli pochodzi on z różnych czasów i od różnych producentów, tak jak to miało miejsce w przypadku stanowisk przedstawionych w tym artykule i w [3].

BIBLIOGRAFIA

1. Ajdukiewicz C., Ćwiczenia laboratoryjne z Wytrzymałości Materiałów, skrypt w przygotowaniu.
2. Wichniewicz S., Wytrzymałość materiałów. Ćwiczenia laboratoryjne. OWPW, Warszawa 2002.
3. Piotrowski A., Gajewski M., Ajdukiewicz C., Zastosowanie systemu LabVIEW do przygotowania stanowisk dydaktycznych w laboratorium Wytrzymałości Materiałów. Logistyka 6/2014.

MODERNIZATION OF DIDACTIC LABORATORY OF STRENGTH OF MATERIALS USING LABVIEW

Abstract

The article describes modernization of some devices used during the laboratory exercises of the Strength of Materials at the Faculty of Civil Engineering in Warsaw University of Technology. Modernization has been made through the introduction of electronic registration of force in old machines and the creation of computer programs collecting data from various measuring devices used.

Autorzy:

Piotrowski Andrzej, E-mail: a.piotrowski@il.pw.edu.pl,

Gajewski Marcin, E-mail: m.gajewski@il.pw.edu.pl,

Ajdukiewicz Cezary, c.ajdukiewicz@il.pw.edu.pl,

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej; 00-637 Warszawa; Al. Armii Ludowej 16.