

**Jacek WOJUTYŃSKI, Andrzej GOSPODARCZYK,
Tomasz SAMBORSKI, Jerzy DOBRODZIEJ**
Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Radom
Artur PISAREK
Politechnika Warszawska

KOMPUTEROWY SYSTEM MONITOROWANIA, AKWIZYCJI I PRZETWARZANIA DANYCH W BADANIACH WYTRZYMAŁOŚCI ADHEZYJNEJ WĘŻY Z GUMY I TWORZYW SZTUCZNYCH

Słowa kluczowe

Badania wytrzymałości adhezyjnej węży strażackich, pomiary siły rozwarstwiania, algorytmy detekcji minimów i maksimów siły rozwarstwiającej, procedury akwizycji danych pomiarowych w badaniach adhezyjnych.

Streszczenie

W artykule przedstawiono komputerowy system pozyskiwania i gromadzenia danych w badaniach atestacyjnych węży z gumy i tworzyw sztucznych. Zaprezentowano stanowisko badawcze złożone z oryginalnej maszyny do badań wytrzymałościowych oraz systemu komputerowego. Omówiono strukturę systemu, algorytmy operacyjne oraz zakres zastosowań systemu. Zaprezentowano wybrane wyniki badań uzyskanych z użyciem opracowanego stanowiska badawczego. Wskazano nowe możliwości aplikacyjne dla opracowanego stanowiska badawczego w innych dziedzinach badań wytrzymałościowych.

1. Geneza i cel pracy

Węże strażackie stosowane w akcjach gaśniczych pracują w szerokim zakresie temperatur. Poddawane są naprężeniom wynikającym z ciśnienia pom-

powanej wody oraz oddziaływaniom mechanicznym przy rozciąganiu lub zwi-
nianiu. Materiały stosowane do ich produkcji powinny zatem posiadać odpo-
wiednią wytrzymałość. Do zabezpieczenia przed ubytkiem wody pompowanej
pod ciśnieniem węże muszą być szczelne. Spełnienie tych warunków wymaga
użycia kompozytowych materiałów złożonych z kilku warstw [6], z których
każda spełnia określone wymagania i jest sklejona z inną warstwą. Pod wpły-
wem naprężeń może zaistnieć zjawisko rozwarstwienia skutkujące uszkodze-
niem węża. Uzyskanie możliwie jak największego czasu eksploatacji wymusza
zapewnienie odpowiedniej wytrzymałości adhezyjnej pomiędzy warstwami, która
jest jednym z parametrów podlegających badaniom atestacyjnym przeprowadzonym
przed dopuszczeniem nowych konstrukcji węży do eksploatacji. Badania takie wy-
konywane są w Laboratorium Pomp i Armatury Wodno-Pianowej w Centrum Nau-
kowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej. Wykorzystywane do dotychczas
stanowisko badawcze wyposażone jest w analogowe układy rejestracji siły.
W związku z tym występują problemy, które dotyczą między innymi:

- braku cyfrowego zapisu przebiegu prób wytrzymałościowych, co powoduje,
że przygotowanie raportu z badań wymaga skanowania zarejestrowanych
przebiegów siły w funkcji czasu lub drogi rozciągania,
- braku możliwości dokładnego wyznaczania minimów i maksimów siły od-
powiadających procesowi rozwarstwiania.

Ważnym czynnikiem jest również fakt, że czujniki do pomiaru siły są star-
szej generacji, co zwiększa błędy pomiaru. Ze względu na przedstawione prze-
słanki podjęto prace, których celem było:

**Opracowanie stanowiska do badań wytrzymałości adhezyjnej, składa-
jącego się ze specjalizowanej maszyny oraz komputerowego systemu wizua-
lizacji przebiegu prób i akwizycji danych.**

1. Wymagania techniczne odnośnie do stanowiska badawczego

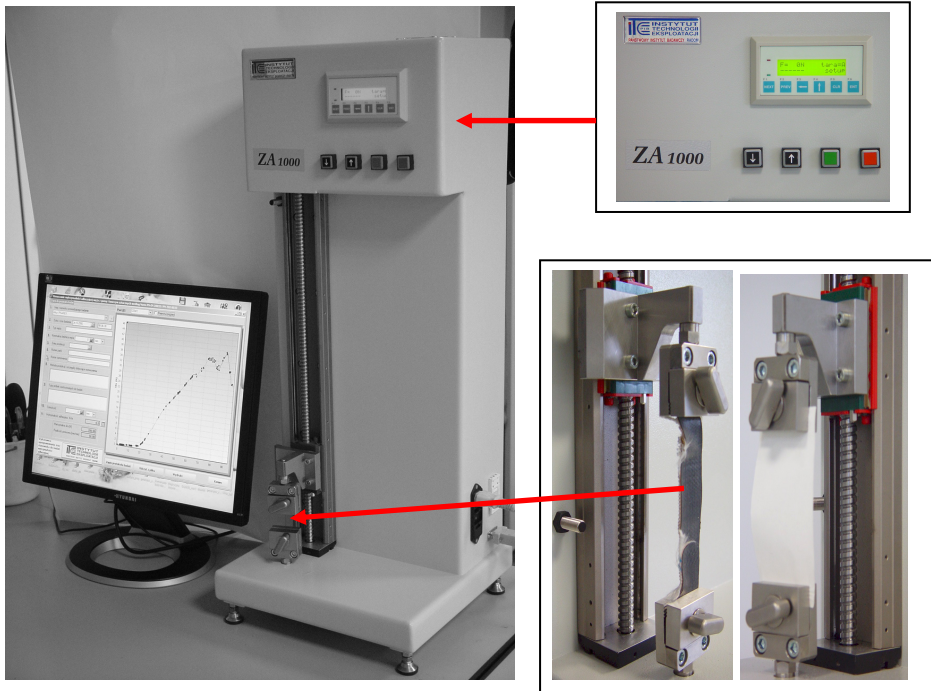
Opracowane specjalizowane stanowisko badawcze (rys. 1) przeznaczone
jest do badań wytrzymałości adhezyjnej węży tłocznych oraz ssawnych wg
normy PN-EN 28033 lub polskiego odpowiednika PN-ISO 8033 [7]. W zakresie
technicznym sformułowano następujące wymagania:

- maksymalne obciążenie rozrywające 1000 N,
- skok roboczy min 300 mm,
- zakres zmienności prędkości liniowej od 10 do 100 mm/min,
- pomiar siły zrywającej realizowany przetwornikiem klasy 0,1.

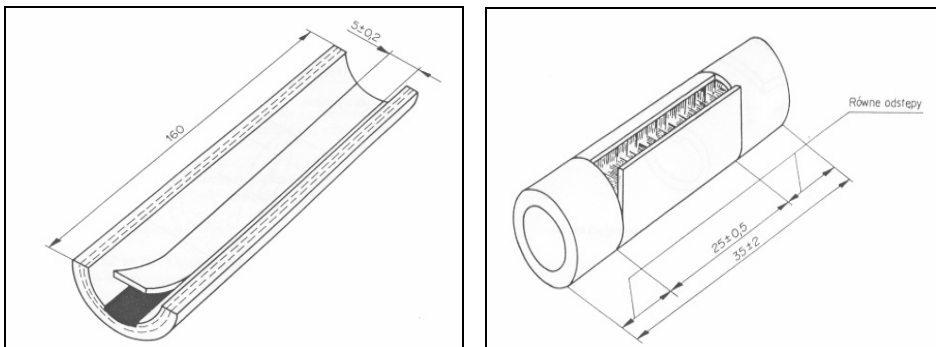
Badanie wytrzymałości przeprowadzane jest wg przyjętych procedur staty-
stycznych oraz normatywnych [4] z użyciem próbek, których kształt i wymiary
geometryczne precyzuje norma PN-EN 28033 (rys. 2). Badanie uznaje się za pra-
widłowe, jeżeli przeprowadzono minimum trzy próby. Wynikiem badania jest
średnia arytmetyczna wartości współczynników odporności na rozwarstwianie

uzyskiwanych w poszczególnych próbach. Dokumentacja badania zgodnie z normą powinna zawierać dla każdej próby między innymi następujące informacje:

- typ i nominalna średnica węża,
- metoda produkcji węża i szczegóły dotyczące wzmocnienia,
- szerokość i typ próbki użytej w badaniu (rys. 2),
- przebieg siły w funkcji czasu lub drogi rozciągania,



Rys. 1. Specjalizowane stanowisko badawcze do badań wytrzymałości adhezyjnej węża strażackich (zademonstrowano próbkę z węża oraz próbkę wielowarstwową z papieru)



Rys. 2. Przykład: wymiary w mm i kształt różnych typów próbek stosowanych w badaniach wytrzymałości adhezyjnej węży z gumy i materiałów plastycznych

W nowoczesnych maszynach do badań wytrzymałościowych (np. Instron) niezbędne jest rejestrowanie i wizualizacja on-line przebiegu siły (lub wydłużenia) w funkcji czasu [1]. Po zakończeniu próby na podstawie zarejestrowanych danych dotyczących siły wymagane jest obliczenie współczynnika odporności na rozwarstwianie przy użyciu mediany minimów i maksimów siły (tzw. pików¹) odpowiadających kolejnym rozwarstwieniom.

2. Problemy techniczne i badawcze w opracowaniu systemu

Opracowanie systemu komputerowego do monitorowania, akwizycji i przetwarzania danych w badaniach wytrzymałości adhezyjnej węży z gumy i tworzyw sztucznych wymagało rozwiązania następujących badawczych i technicznych problemów:

1. Sposób komunikacji pomiędzy systemem a maszyną wytrzymałościową.
2. Metoda synchronizacji pomiarów wykonywanych w maszynie z wizualizacją przebiegu próby w systemie komputerowym.
3. Algorytm akwizycji danych pozyskiwanych w próbach w ramach badań wytrzymałości.
4. Identyfikacja pików siły z ewentualną, automatyczną eliminacją pomiarów, które mogą być uznane za nietypowe.

Sposób komunikacji pomiędzy systemem a maszyną wytrzymałościową opracowany został na podstawie wymagań odnośnie do liczby pomiarów siły rejestrowanych w ciągu sekundy niezbędnych dla prawidłowej detekcji rozwarstwiania się poszczególnych warstw badanej próbki. Analiza procesów prób wytrzymałościowych wykazała, że maksymalna częstotliwość dokonywania pomiarów powinna wynosić 50 pomiarów na sekundę. W maszynie zastosowano siłomierz, składający się z tensometrycznego przetwornika siły, wzmacniacza pomiarowego i miernika, umożliwiający prowadzenie pomiarów z dokładnością do 0,1 N o niepewności przekazywania jednostki miary siły 0,005% mierzonej wartości. Na podstawie przedstawionych uwarunkowań technicznych zdecydowano się zastosować do komunikacji protokół transmisji szeregowej obsługiwany przez port RS232 [2], w który wyposażony jest zarówno komputer PC, jak i sterowniki PLC zamontowane w maszynie wytrzymałościowej. Zastosowano następujące ustawienia dla portu RS232:

- prędkość transmisji: 9600 bitów/s,
- 7 bitów na bajt,
- 1 bit stopu,
- sprawdzanie parzystości,
- identyfikacja stanu sygnałów: CTS, DTS, RLSD².

¹ Pojęcia maksima i minima siły oraz piki będą w dalszej części artykułu używane zamiennie.

² CTS – Clear To Send, DTS – Data Set Ready, RLSD – Receive Line Signal Detect.

Dla każdego przesłanego pakietu danych (np. rozkazu odczytu stanu maszyny, rozkazu o przesłanie wyniku pomiaru siły) sprawdzana jest suma kontrolna, która jest weryfikatorem poprawności transmisji. Transmisja jest powtarzana w przypadku niezgodności pomiędzy sumą kontrolną obliczoną na podstawie przesłanej informacji a sumą kontrolną dołączaną do informacji zwrotnej.

Metoda synchronizacji pomiarów wykonywanych w maszynie z wizualizacją przebiegu próby w systemie komputerowym opracowana została na podstawie analizy stanów, w jakich znajduje się maszyna oraz częstotliwości pomiarów (rys. 3).

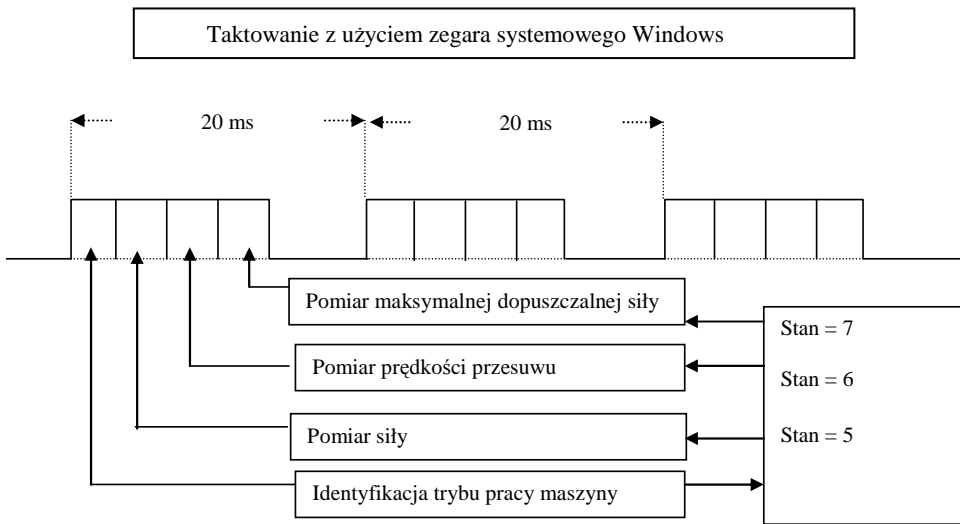
Tabela 1. Stany pracy maszyny i odpowiadające im wartości zastosowane w metodzie synchronizacji pomiarów

Stan maszyny	Symbol stanu maszyny	Uwagi
Stan bezczynności	0	Maszyna jest włączona, ale nie są wykonywane operacje wymagające rejestracji
Przesuw uchwyty w górę	1	W systemie jest wyświetlany komunikat o przesuwaniu uchwyty próbki w górę lub w dół
Przesuw uchwyty w dół	2	
Osiągnięty górny ogranicznik ruchu uchwyty	3	W systemie wyświetlany jest komunikat o osiągnięciu maksymalnej górnej pozycji uchwyty próbki. W maszynie silnik realizujący przesuw jest wyłączany.
Osiągnięty dolny ogranicznik ruchu uchwyty	4	W systemie wyświetlany jest komunikat o osiągnięciu minimalnej dolnej pozycji uchwyty próbki. W maszynie silnik realizujący przesuw jest wyłączany.
Pomiary siły	5	Maszyna jest w trybie pomiarów siły, prędkości przesuwu maksymalnej dopuszczalnej siły.
Pomiary prędkości przesuwu	6	Maszyna jest w trybie pomiarów prędkości przesuwu.
Pomiary wartości maksymalnej siły	7	Maszyna jest w trybie pomiarów dopuszczalnej, maksymalnej siły. Przekroczenie wartości tej siły powoduje przerwanie rozciągania próbki.

Do synchronizacji po stronie systemu komputerowego wykorzystano zegar systemowy. Interwał pomiędzy grupą pomiarów ustalono na 20 ms, co pozwala na efektywną i prawidłową komunikację nawet przy powtórzeniach przesyłanych pakietów transmisyjnych.

Algorytm akwizycji danych pozyskiwanych w próbach w ramach badań wytrzymałości musi umożliwiać zapis danych z dowolnej liczby prób wykonanych w badaniu. Ponieważ w trakcie jednej próby mierzone i zapisywane jest

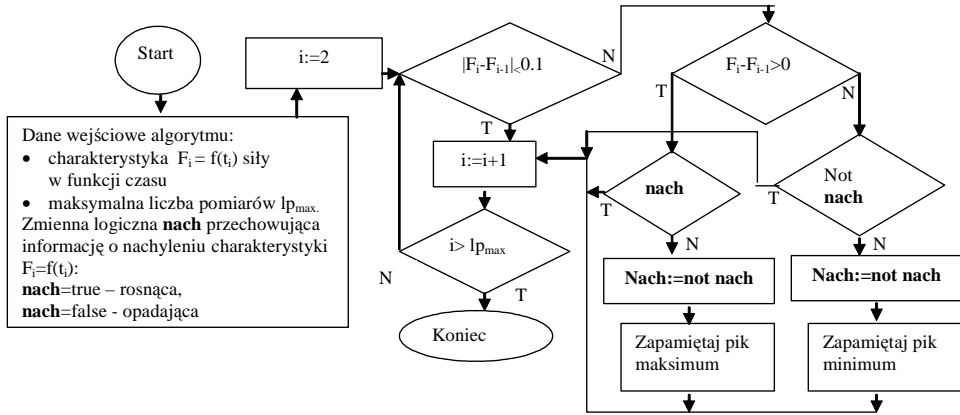
kilkanaście tysięcy wartości, więc użycie relacyjnych baz danych prowadziłyby do powstawania dużych tabel. Efektywna obsługa takich baz danych wymagałaby zastosowania technologii baz danych z wbudowanym systemem RDBMS [3]. Problem ten rozwiązano za pomocą modelu zapisu wyników pomiarów do plików tekstowych akceptowalnych przez program Excel. Opracowano strukturę pliku zawierającą: informacje wymagane przez normę PN-EN 28033, prędkość przesuwu oraz wyniki pomiaru siły w funkcji czasu. Na potrzeby szybkiej identyfikacji badań wykorzystano unikalny numer badania atestacyjnego.



Rys. 3. Metoda synchronizacji pomiarów z systemem komputerowym w wizualizacji przebiegu próby w badaniu wytrzymałości adhezyjnej węży z gumy i materiałów plastycznych

W algorytmie zaimplementowano procedury sprawdzania numeru badania w celu automatycznego tworzenia katalogów o nazwie zgodnej z unikalnym numerem badania. Opracowano procedury nadawania nazw dla plików zawierających informacje z kolejnych prób. Wykonano aplikację funkcji sprawdzania poprawności struktury plików.

Identyfikacja pików siły wykonywana jest po zakończeniu próby (rozwarstwieniu próbki). Do eliminacji fluktuacji siły wykorzystano kryterium dokładności pomiaru siły (0,1 N). Opracowano algorytm wykrywania pików (rys. 4). Podstawą algorytmu jest śledzenie zmian siły w czasie i detekcja zmiany nachylenia mierzonej charakterystyki siły.



Rys. 4. Algorytm identyfikacji pików siły (punktów czasowych rozwarstwiania węża)

Do automatycznej eliminacji nietypowych pomiarów zastosowano zależność zaproponowaną przez Zeliasa do wyznaczania otoczenia linii regresji [4]:

$$\hat{e}_i = e_i / s_e \quad (1)$$

gdzie: \hat{e}_i jest standaryzowaną resztą dla i -tej wartości siły,
 e_i – i -ta reszta; $i \in \{1, 2, \dots, n\}$,

$$s_e = \left[\left(\sum_{i=1}^n e_i^2 \right) / (n - 1) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Wartości sił mające duże reszty można uznać za nietypowe, ponieważ nie mieszczą się w otoczeniu oszacowanej linii regresji. Dana jest nietypowa, jeżeli $|\hat{e}_i| > \beta$, gdzie β jest wartością stałą, dobieraną automatycznie przez algorytm eliminacji na podstawie parametrów statycznych. Po ewentualnym usunięciu danych nietypowych dla każdej próby k obliczana jest wartość współczynnika odporności na rozwarstwianie z użyciem mediany minimów i maksimów siły (pików) na podstawie zależności:

$$R_k = \frac{Me}{V} \quad (3)$$

gdzie: V – szerokość próbki w mm,

Me – mediana uporządkowanego ciągu minimów i maksimów siły F_i ($i \in \{1, 2, \dots, n\}$) wyznaczana z zależności:

$$Me = \begin{cases} F_{\frac{n+1}{2}} & \text{dla } n \text{ nieparzystych} \\ \frac{1}{2} \cdot (F_{\frac{n}{2}} + F_{\frac{n}{2}+1}) & \text{dla } n \text{ parzystych} \end{cases} \quad (4)$$

Zgodnie z wymaganiami normy ocena wytrzymałości adhezyjnej jest przeprowadzana na podstawie średniej wartości współczynnika odporności na rozwarstwianie z m wykonanych prób:

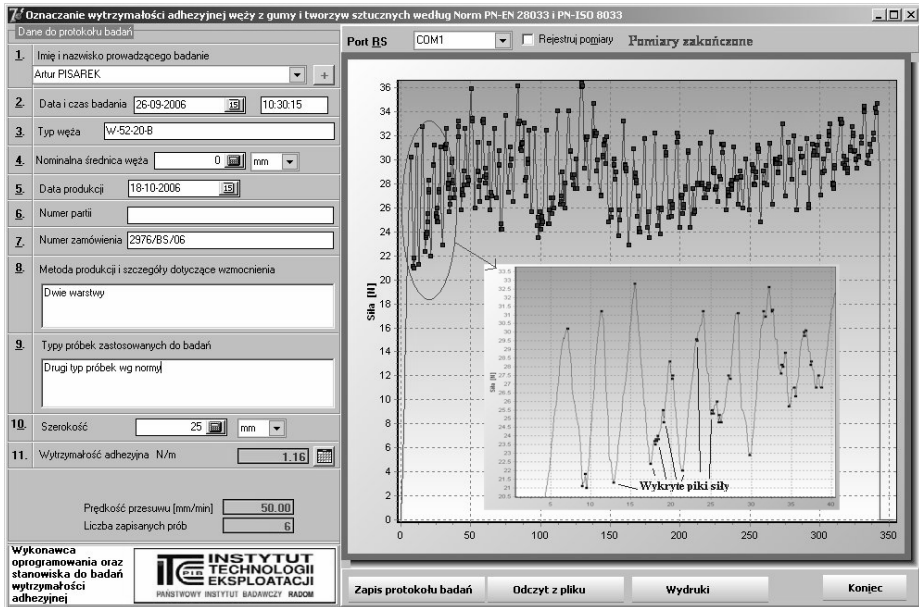
$$R = \frac{\sum_k^m R_k}{m} \quad (5)$$

2. Implementacja oraz możliwości systemu

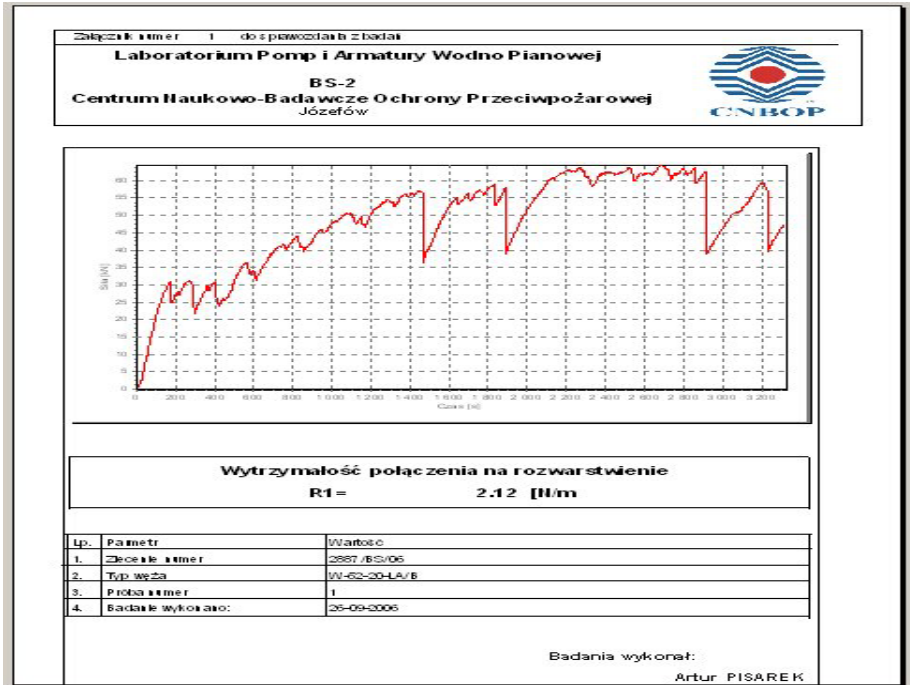
Rozwiązanie problemów technicznych i badawczych pozwoliło wykonać aplikację (rys. 5) komputerowego systemu monitorowania, akwizycji i przetwarzania danych w badaniach wytrzymałości adhezyjnej węży z gumy i tworzyw sztucznych. Opracowany system wyposażony został między innymi w opcje umożliwiające:

1. Podanie dla każdej próby informacji wymaganych w normie PN-EN 28033.
2. Monitorowanie stanu maszyny lub procesu przebiegu próby w trybie on-line.
3. Odczyt siły w funkcji czasu po zakończeniu próby (tryb off-line).
4. Automatyczny zapis rezultatów próby do protokołu badań.
5. Automatyczny zapis mierzonych wartości siły do pliku tymczasowego (w celu zabezpieczenia się przed utratą danych w przypadku sytuacji awaryjnych).
6. Wydruk wyników uzyskanych w trakcie próby lub badania (rys. 6).
7. Powiększanie/pomniejszanie części wykresu (w trakcie monitorowania lub po zakończeniu próby).
8. Wyświetlanie wykresu siły na pełnym ekranie.
9. Wyznaczenie pików siły odpowiadających rozwarstwianiu.
10. Wyświetlenie zidentyfikowanych pików siły.
11. Obliczenie dla każdej próby współczynnika odporności na rozwarstwianie z użyciem mediany z minimów lub maksimów siły (pików).
12. Automatyczne wykrywanie portów RS 232 dostępnych w komputerze.

Aplikację wykonano w technice programowania obiektowego z użyciem pakietu Delphi 2006 [5].



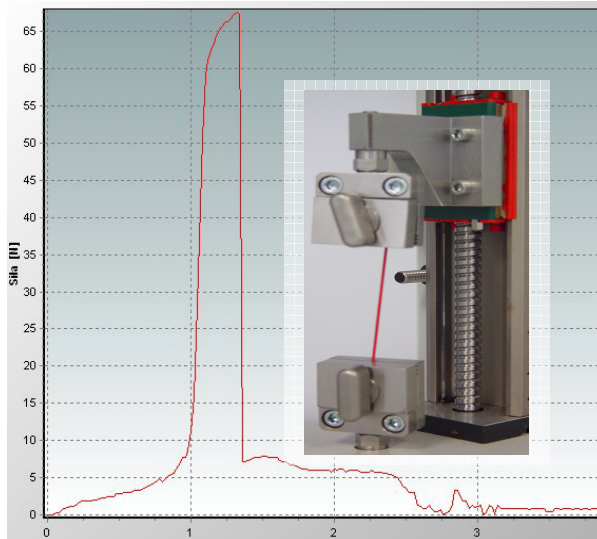
Rys. 5. Aplikacja komputerowego systemu monitorowania, akwizycji i przetwarzania danych w badaniach wytrzymałości adhezyjnej



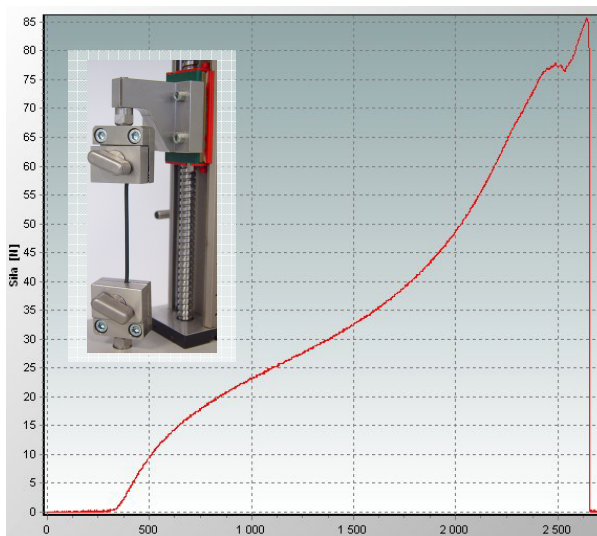
Rys. 6. Przykład wydruku protokołu badań

Podsumowanie

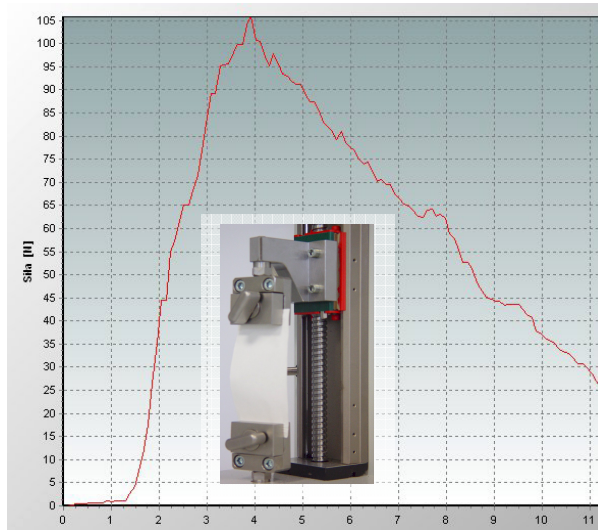
Opracowane stanowisko może być również wykorzystane do badań nie tylko materiałów używanych w wielowarstwowych węzłach strażackich. W ramach weryfikacji poprawności działania systemu przeprowadzono między innymi badania wytrzymałości na rozciąganie w przypadku drutu stalowego z izolacją (rys. 7), wyrobów z gumy (rys. 7), papieru (rys. 9) oraz plastiku (rys. 10).



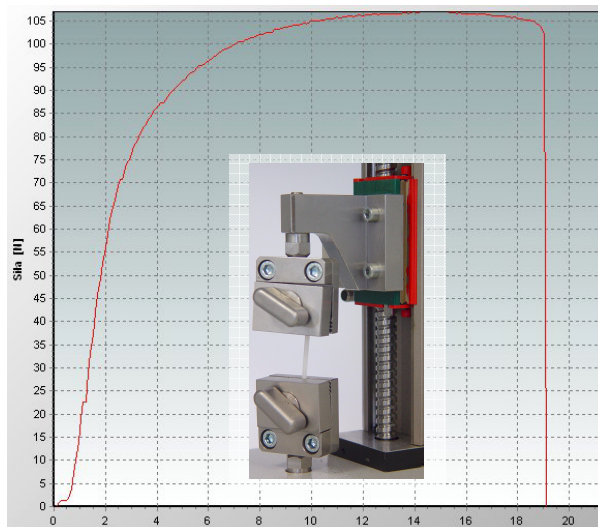
Rys. 7. Przykład badań wytrzymałości na rozciąganie drutu stalowego z izolacją



Rys. 8. Przykład badań wytrzymałości materiałów gumowych



Rys. 9. Przykład badań wytrzymałości na rozciąganie papieru



Rys. 10. Przykład badań wytrzymałości materiałów plastiku

Opracowane stanowisko może znaleźć zastosowanie na przykład w badaniach:

- wytrzymałości adhezyjnych cienkich elementów pokrytych warstwami wierzchnimi,
- wytrzymałości na rozciąganie próbek metalowych.

Ze względu na cenę, procedury badawcze, jakie mogą być realizowane oraz ergonomię obsługi, stanowisko może stanowić doskonałe instrumentarium dydaktyczne dla wydziału kształcących studentów z zakresu materiałowym.

Zweryfikowane rozwiązania sprzętowe i programowe zastosowane w stanowisku mogą być zaadaptowane w działających maszynach przeznaczonych do badań wytrzymałościowych nie posiadających możliwości rejestracji siły i wydłużeń w trybie on-line.

Istnieje również możliwość zaadaptowania zastosowanych w systemie rozwiązań do budowy stanowisk laboratoryjnych, pozwalających na uczenie techniki pomiarów siły, sterowanie silnikami krokowymi, pisanie oprogramowania dla sterowników PLC i pulpitu operatora.

Praca naukowa finansowana ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, wykonana w ramach realizacji Programu Wieloletniego pn. „Doskonalenie systemów rozwoju innowacyjności w produkcji i eksploatacji w latach 2004–2008”.

Bibliografia

1. Bąk R., Burczyński T.: Wytrzymałość materiałów z elementami ujęcia komputerowego”, ISBN 83-204-2577-8, WNT, Warszawa 2001.
2. Daniluk A.: RS 232C – praktyczne programowanie. Od Pascala i C++ do Delphi i Buildera. Wydanie II, ISBN: 83-7197-990-8, Helion, Gliwice 2002.
3. Mościcki A., Kruk I.: Oracle 10 g i Delphi. Programowanie baz danych”, ISBN: 83-246-0272-0, Helion, Gliwice 2006.
4. Misiak J.: Mechanika techniczna. Tom 1 – Statystyka i wytrzymałość materiałów, ISBN: 83-204-2814-9, WNT, 2006.
5. PachecoX., Teixeira S.: Delphi 6. Vademecum profesjonalisty (tytuł oryginału: „Delphi 6 Developers Guide”). Tom I ISBN: 83-7197-690-9, Tom 2 ISBN: 83-7197-745-X, Helion, Gliwice 2002.
6. Żenkiewicz M.: Adhezja i modyfikowanie warstwy wierzchniej tworzyw wielkocząsteczkowych, ISBN:83-204-2547-6, WNT, 2000.
7. Normy: PN-EN 28033 oraz PN-ISO 8033.

Recenzent:
Adam MAZURKIEWICZ

Computer system for the monitoring, acquisition and processing of data in adhesion strength tests of rubber and plastic hoses

Summary

In the article a computer data acquisition system in attestation studies of fire hoses made of either rubber or plastic is presented. The test stand composed of an original, simplified adhesion strength tester and a computer system is described. The article presents the system structure, operational algorithms and the scope of the system. Some selected research results received with the designed test stand is shown. New capabilities of application for the test stand in diverse adhesion studies are pointed out.

