

Dr inż. Andrzej Podsiadło  
Dr inż. Janusz Pluta  
Mgr inż. Piotr Micek  
Zakład Automatykacji Procesów  
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki  
Akademia Górniczo-Hutnicza  
al. Mickiewicza 30, B-2/110, 30-059 Kraków

## MODERNIZACJA UKŁADÓW POMIAROWYCH I STERUJĄCYCH HYDRAULICZNYCH MASZYN WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH

### *Streszczenie:*

*W artykule zaprezentowano możliwości modernizacji hydraulicznych maszyn wytrzymałościowych starego typu, w zakresie układu sterująco - pomiarowego, przy zastosowaniu sterowania cyfrowego. Przedstawiono, na przykładzie maszyny wytrzymałościowej typu EDZ-40, wykonany i wdrożony w przemyśle komputerowy system sterowania i monitorowania tej maszyny. Opisano także nowy precyzyjny sposób sterowania prędkością posuwu trawersy oraz stabilizacji siły, wykorzystujący algorytmy logiki rozmytej (fuzzy logic) i spełniający wymagania współczesnych procedur badawczych.*

### *Abstract:*

*The article presents some possibilities of modernizing old type strength testing machines, as far as the control-and-measuring system is concerned, by using a digital control unit. Taking as example a testing machine, type EDZ-40, there has been shown a computer-aided control and monitoring system, designed and implemented in industry. The paper presents as well a new, precise system for controlling the travel speed of the cross-beam and force stabilization by means of fuzzy logic algorithms complying with the requirements of the contemporary testing and research procedures.*

### 1. WSTĘP

W ostatnich latach nastąpiła zmiana wielu norm dotyczących badań jakości produkowanych wyrobów. Dotyczy to także wyrobów hutniczych, których jakość określona jest m. in. poprzez wyznaczenie ich parametrów wytrzymałościowych. Maszyny do badań wytrzymałościowych, jakimi w dużej części dysponują przemysłowe laboratoria badawcze, często nie spełniają już wymogów najnowszych norm, wzorowanych na normach zachodnioeuropejskich. Chodzi tu zarówno o zapewnienie klasy dokładności pomiarów, jak i możliwości ich monitorowania i rejestracji oraz archiwizacji wyników tych pomiarów. Aktualnie produkowane maszyny wytrzymałościowe muszą spełniać wszystkie wymagania określone obowiązującymi obecnie normami, ale ich wysoka cena sprawia, że są one dostępne tylko dla nielicznych laboratoriów krajowych.

Szybki rozwój techniki w zakresie elementów i układów pomiarowych spowodował znaczne obniżenie ich cen, z tego względu najbardziej znaczącym elementem kosztów produkcji nowej maszyny wytrzymałościowej jest jej część mechaniczna. Dobre na ogół warunki pracy tych maszyn oraz znaczne przewymiarowanie i przeszytywnienie elementów mechanicznych powodują, że zużycie tych elementów nawet po kilku dziesięcioleciach pracy jest nieznaczne i nie wpływa na jakość pracy. Natomiast układ pomiarowo - rejestrujący, najczęściej mechaniczny lub elektromechaniczny uniemożliwia osiągnięcie wymaganej obecnie dokładności pomiaru oraz utrudnia tworzenie bazy danych i podejmowanie odpowiednich decyzji w zakresie sterowania jakością produkcji. W związku z tym można zaobserwować wzrost nakładów na modernizację starych maszyn wytrzymałościowych. Modernizacja ta najczęściej prowadzi do zastosowania programowalnych sterowników logicznych (PLC) i nowoczesnych przetworników pomiarowych w miejsce systemów opartych na elementach stykowych i elektromechanicznych układach pomiarowych. Umożliwia to szczegółowe monitorowanie przebiegu badań i raportowanie ich wyników.

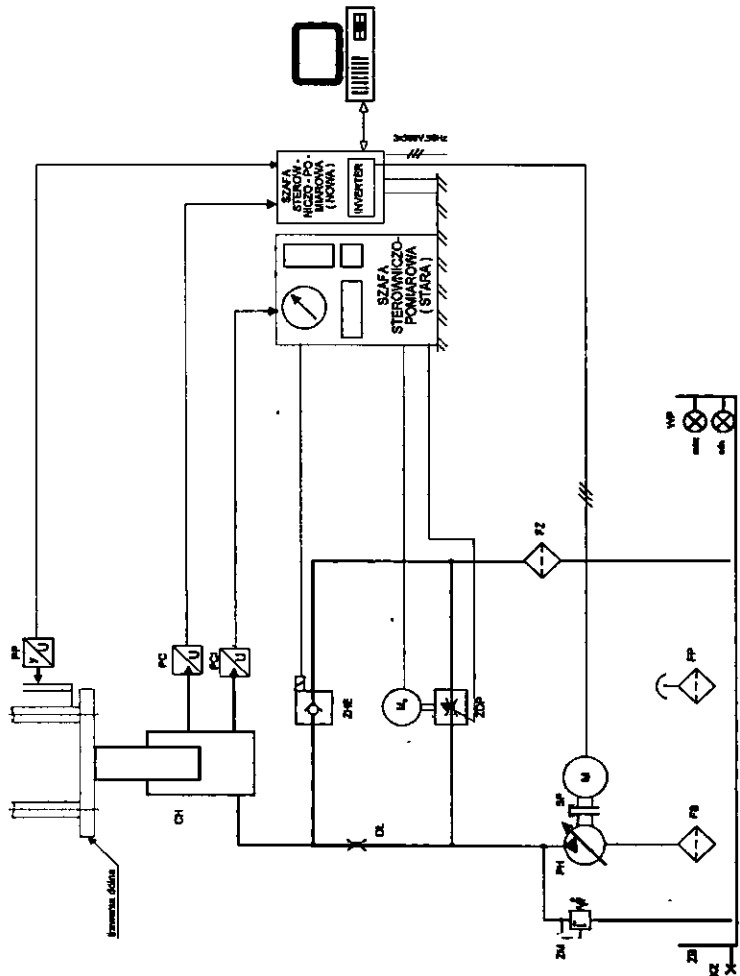
## 2. ZAKRES MODERNIZACJI

Zaprezentowany w artykule sposób modernizacji dotyczy maszyny wytrzymałościowej typu EDZ-40 produkcji DDR, niemniej można go zastosować również w innych typach maszyn wytrzymałościowych z hydraulicznym napędem trawersy. W celu poprawy dokładności prowadzonych badań wytrzymałościowych i jakości sterowania pracą maszyny przeprowadzono jej modernizację.

Część mechaniczna maszyny nie uległa zmianom. W układzie hydraulicznym rozbudowano natomiast system filtracji oleju i powietrza oraz zastosowano inny sposób regulacji wydajności pompy. Zrezygnowano z dotychczas stosowanego regulatora wydajności pompy, a do zmiany tej wydajności zastosowano precyzyjny przemiennik częstotliwości współpracujący z silnikiem elektrycznym napędzającym pompę. Przemiennik ten jest sterowany automatycznie poprzez programowalny sterownik logiczny z dodatkowymi modułami wejść i wyjść analogowych oraz wyjść przekaźnikowych.

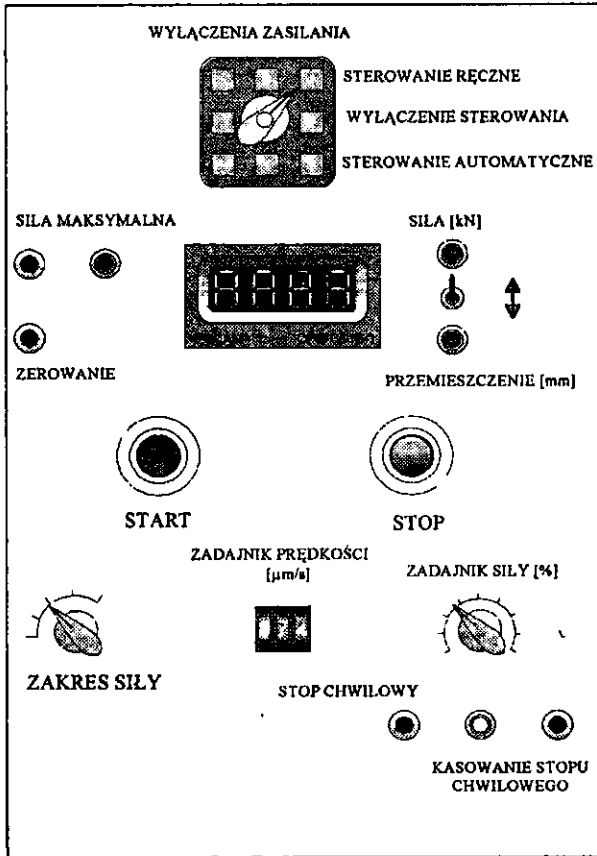
Zasadnicza modernizacja dokonana została w układzie sterowniczo-pomiarowym. Obok dotychczasowego, starego układu, zamontowanego w specjalnej szafie, opracowano i wykonano dodatkowy nowy układ sterowniczo-pomiarowy, umieszczony w osobnej szafce sterowniczej, zainstalowanej obok starej szafy. W układzie automatycznego sterowania wykorzystano sprzężenie zwrotne od prędkości trawersy oraz ciśnienia zasilającego siłownik prasy. Dla pomiaru tych wielkości zainstalowano obok dotychczasowego układu (mechaniczny przetwornik drogi i indukcyjnego przetwornik ciśnienia z mechanizmem wskazówkowym), optoelektroniczny przetwornik impulsowy drogi oraz piezoelektryczny przetwornik ciśnienia.

Schemat układu hydraulicznego z zaznaczonymi elementami pomiarowo-sterującymi pokazano na rys. 1. Widok płyty czołowej nowej szafy sterowniczej pokazano na rys. 2.



Rys. 1 Schemat ideowy agregatu hydraulicznego maszyny wytrzymałościowej typu EDZ-40

ZB - zbiornik, CH - cylindry hydrauliczne, M - silnik elektryczny trójfazowy, Ma - silnik sterujący, SP - sprężarka, PH - pompa hydrauliczna, ZM - zawór mechaniczny proporcjonalny, DL - dławik, ZHS - zawór hydrauliczny otwierający elektromagnetycznie, FSS - filtr ssawny, SP - filtr ssawny, FP - filtr powrotny, FP - filtr powrotny, WP - dwuwzruszkowy wskaźnik poziomu oleju, KZ - korek zasilający, PCI - indukcyjny przetwornik ciśnienia (stary), PC - przetwornik ciśnienia (nowy), PP - optoelektryczny czujnik przesłonięcia.



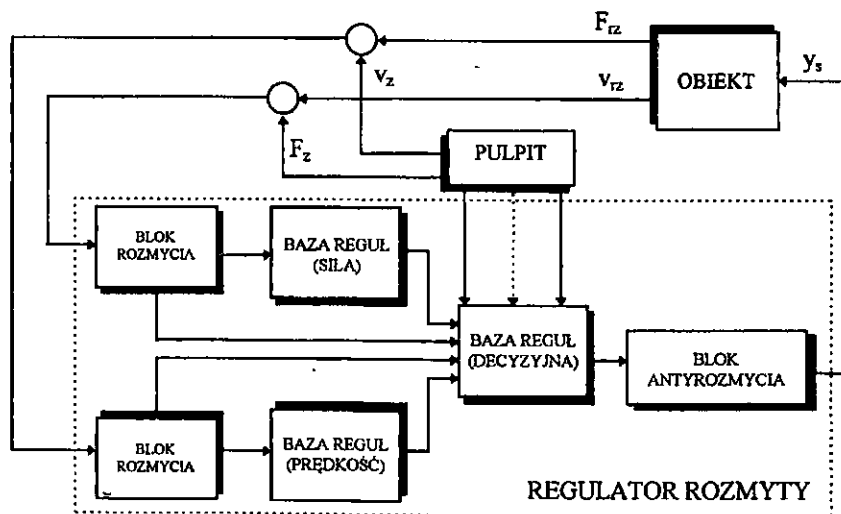
Rys. 2 Widok płyty czołowej nowej szafy sterowniczej

### 3. ALGORYTM STEROWANIA

Układ sterowania realizuje następujące zadania:

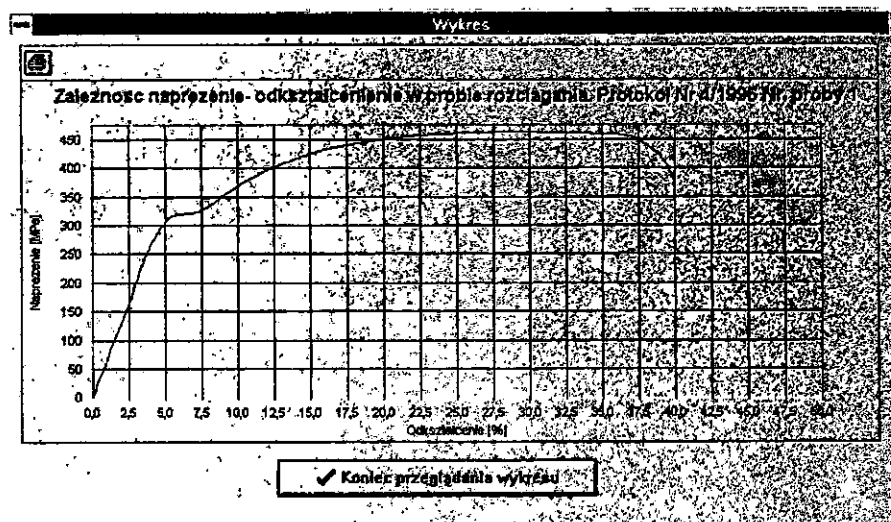
1. regulacja prędkości posuwu trawersy na poziomie zadanym przez operatora w zakresie zgodnym z wymogami normy.
2. stabilizacja siły na zadanym poziomie określonym procentowo w stosunku do zadanego zakresu siły zrywającej w przypadku prowadzenia badań poprzez obciążanie i odciążanie próbki.
3. zrywanie przy zadanym cyklu obciążenia.
4. umożliwia chwilowe zatrzymanie procesu zrywania próbki przy zachowaniu bieżącej siły obciążającej.
5. automatycznie wyłącza maszynę po zerwaniu próbki.
6. umożliwia wykonanie próby wytrzymałościowej przy sterowaniu automatycznym i ręcznym.

Zadania regulacji prędkości posuwu trawersy i stabilizacji siły są ze sobą sprzeczne. W związku z tym należało zastosować dwa algorytmy regulacji oraz algorytm wyboru wielkości sterującej. Opóźnienia toru sterowania oraz działanie całkujące i strefy martwe elementów wykonawczych powodują niestabilność układu w przypadku stosowania klasycznych algorytmów PID. Dla uzyskania stabilności układu należałoby zwiększyć okres próbkowania minimum do 1 [s]. Tak duży okres próbkowania uniemożliwia uzyskanie odpowiedniej jakości sterowania ze względu na występowanie zmian obciążenia wywołanych poślizgami próbki w szczękach. Dla wyeliminowania powstałych problemów w układzie sterowania zastosowano trzy regulatory o logice rozmytej (fuzzy) typu Mamdani'ego. Dwa z nich w oparciu o podobny zestaw reguł pełnią rolę odpowiednio regulatorów prędkości i siły. Natomiast trzeci dokonuje wyboru wartości sterującej. Metoda defazyfikacji z wykorzystaniem średniej ważonej zapewnia ciągłość zmiennej sterującej. Strukturę układu sterowania pokazano na rys. 3.



Rys. 3 Schemat blokowy układu sterowania





Rys. 5 Przykładowe okno analizy wyników

## 5. PARAMETRY TECHNICZNE

Dzięki zastosowaniu nowoczesnych układów pomiarowo-sterujących uzyskano zmodernizowaną maszynę wytrzymałościową o następujących parametrach:

1. Napięcie zasilania  $3 \times 380 \pm 10$  % [V] AC.
2. Moc nominalna 2.2 [kW].
3. Zakres dopuszczalnych sił 20 [kN] ÷ 400 [kN], ustawiany skokowo: 20, 40, 100, 200, 400 [kN].
4. Zakres pomiarowy siły 400 [kN].
5. Zakres pomiarowy przemieszczenia 720 [mm].
6. Dokładność pomiaru siły  $\pm 0.5$  % wartości mierzonej w zakresie 4 [kN] ÷ 400 [kN].
7. Dokładność pomiaru przemieszczenia  $\pm 2$  [ $\mu\text{m}$ ].
8. Dokładność stabilizacji prędkości 10 [ $\mu\text{m/s}$ ]
9. Transmisja danych do komputera złączeniem szeregowym RS 422/232 z szybkością 9600 B/s.
10. Temperatura pracy 10 [ $^{\circ}\text{C}$ ] ÷ 40 [ $^{\circ}\text{C}$ ].
11. Ochrona ziemnozwarciowa poprzez zerowanie.

## 6. PODSUMOWANIE

Przeprowadzona modernizacja pozwoliła na uzyskanie maszyny wytrzymałościowej o parametrach odpowiadających wymogom najnowszych norm za ok. 10 % ceny nowej maszyny o podobnych parametrach. Zastosowanie w układzie sterowania algorytmów regulacji o logice rozmytej oraz wysokiej klasy przemiennika częstotliwości zapewnia stabilność pracy maszyny a zaawansowana obróbka danych pozwala na eliminację błędów wynikających z poślizgów próbki w szczękach.