

Krzysztof MATECKI, Tomasz SAMBORSKI, Stanisław KOZIOŁ
Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Radom

ZASTOSOWANIE TECHNIKI PROPORCJONALNEJ W HYDRAULICZNYCH UKŁADACH OBCIĄŻAJĄCYCH APARATURY BADAWCZEJ

Słowa kluczowe

Napędy hydrauliczne, technika proporcjonalna, badania narzędzi hydraulicznych.

Streszczenie

W pracy przedstawiono budowę i zasadę działania hydraulicznych układów wykonawczych i obciążających, wykorzystujących elementy proporcjonalnej hydrauliki siłowej oraz koncepcję ich zastosowania w stanowiskach do badań wytrzymałościowych, trwałościowych i funkcjonalnych. Elektroniczne sterowanie pracą tych układów daje szerokie możliwości modelowania warunków testów i automatyzacji długotrwałych, cyklicznych procesów badawczych. W Instytucie Technologii Eksploatacji – PIB zostało wykonane stanowisko do badania hydraulicznych narzędzi ratowniczych z inteligentnym hydraulicznym układem obciążającym, wykorzystującym technikę proporcjonalną. Podczas testów na stanowisku możliwe jest zadawanie obciążeń czynnych i biernych, odwzorowujących rzeczywiste warunki pracy, zbadanie charakterystyk roboczych narzędzi oraz wykonanie badań atestacyjnych. Przedstawiono schemat blokowy stanowiska, omówiono hydrauliczny system jego zasilania, zaprezentowano system sterowania, regulacji i pomiarów oraz przykładowe wyniki badań rozpięrcza hydraulicznego.

Wprowadzenie

Układy hydrauliczne, wykorzystujące proporcjonalną technikę sterowania, są połączeniem hydraulicznego przenoszenia mocy z precyzją i elastycznością sterowania elektronicznego. Pozwala to na tworzenie programowalnych sterowań i napędów, umożliwiających realizację koncepcji nowych urządzeń technologicznych i specjalnych układów hydraulicznych, dedykowanych do specjalistycznej aparatury badawczej. Szczególnie interesujące, z tego punktu widzenia, jest stosowanie w nowoczesnych urządzeniach badawczych rozwiązań hydraulicznych z techniką proporcjonalną, pełniących funkcję układów napędowych, pozycjonujących oraz obciążających, co pozwala między innymi na automatyzację prowadzonych, zwłaszcza ciągłych i długotrwałych, procesów badawczych. Znajdują one zastosowanie głównie jako badawcze układy obciążające przeznaczone do testowania wyrobów, od których są wymagane określone właściwości wytrzymałościowe, trwałość, niezawodność działania lub dynamiczne charakterystyki wykonawcze w postaci odpowiedniej zależności wartości wywieranej siły w funkcji położenia i prędkości przemieszczania elementów wykonawczych. Zapotrzebowanie na tego rodzaju aparaturę jest podyktowane przede wszystkim dostosowywaniem wyposażenia krajowych laboratoriów badawczych do wymagań nowych, zgodnych z europejskimi, norm i metodyk badań wprowadzanych do systemów badań i certyfikacji wyrobów.

Celem przedstawionej pracy jest budowa stanowiska do badania narzędzi hydraulicznych stosowanych w ratownictwie technicznym, w którym rolę zespołu obciążającego pełni inteligentny układ hydrauliczny, wykorzystujący proporcjonalne elementy sterujące.

1. Układy hydrauliczne z techniką proporcjonalną

Powszechnie stosowane w technice układy hydrauliczne składają się z następujących zespołów i elementów [1, 2]:

- zespoły wykonawcze (napędowe), obejmujące siłowniki i silniki hydrauliczne,
- elementy sterujące ciśnieniem i przepływem czynnika hydraulicznego, tj. zawory rozdzielające, proporcjonalne zawory sterujące ciśnieniem, proporcjonalne regulatory przepływu, zawory zwrotne,
- elementy przygotowania, magazynowania i przesyłania czynnika roboczego,
- elementy pomocnicze, czyli różnego rodzaju złącza, płyty montażowe, mierniki np. ciśnienia, temperatury itp.

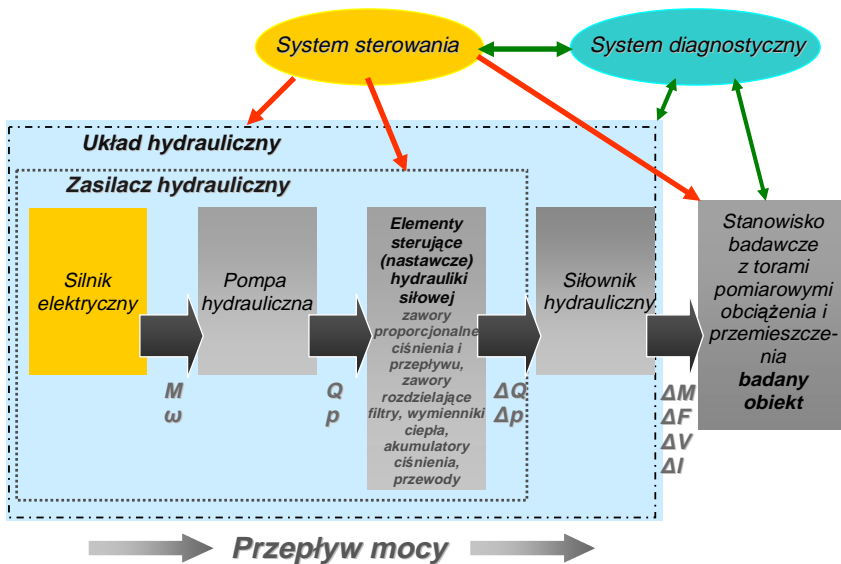
Układy hydrauliczne są bardzo często stosowane w maszynach i urządzeniach ze względu na szeroki zakres możliwych do zrealizowania funkcji, łatwość sterowania ich przebiegiem i inne właściwości, do których można zaliczyć:

- realizację ruchu postępowego za pomocą cylindrów hydraulicznych,
- realizację ruchu obrotowego przy pomocy siłowników oraz silników rotacyjnych i wahliwych,

- wywieranie dużych obciążeń: sił i momentów skręcających,
- szeroki zakres regulacji prędkości ruchu,
- możliwość zadawania prędkości i drogi przesuwu, obrotu oraz szybkości zmian obciążenia,
- bardzo duża niezawodność i trwałość przy prawidłowej eksploatacji oraz łatwość wymiany zużytych części lub całych zespołów.

Układy hydrauliczne wyposażone w proporcjonalne elementy sterujące ciśnieniem i przepływem czynnika oraz mikroprocesorowe układy sterowania zapewniają szerokie możliwości sterowania wywieranym obciążeniem czynnym lub parametrami obciążenia biernego za pomocą programowalnego sterownika elektronicznego lub komputera według założonych przebiegów czasowych. Elektroniczne sterowanie przebiegiem zmian obciążeń wywieranych przez cylindry hydrauliczne pozwala również na zastosowanie jednoczesnej kontroli realizowanych przebiegów czasowych za pomocą zewnętrznych układów pomiarowych i pracę układów wykonawczych w pętli sprzężenia zwrotnego.

Ogólną koncepcję konfiguracji programowalnego hydraulicznego układu obciążającego wyposażonego w system sterowania, zaaplikowanego w aparaturę badawczą, przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat programowalnego układu hydraulicznego

Układ hydrauliczny składa się z zasilacza hydraulicznego i elementu wykonawczego (siłownika). Silnik elektryczny o stałej prędkości obrotowej ω_1 napędza pompę hydrauliczną tłoczącą czynnik roboczy ze stałym wydatkiem Q o ciśnieniu p ograniczonym przez odpowiedni zawór regulujący ciśnienie. Elementy

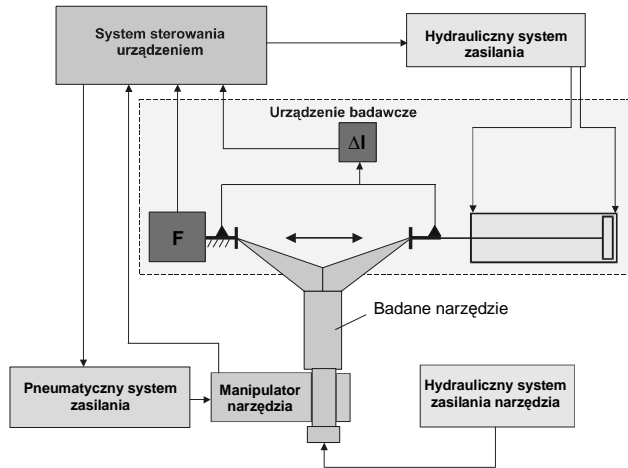
sterujące zasilacza, a szczególnie elementy proporcjonalne powodują, że element wykonawczy jest zasilany czynnikiem o zmieniającym się ciśnieniu Δp i przepływie ΔQ zarówno co do jego wartości, jak i zwrotu. Dzięki temu siłownik oddziałuje na badany obiekt umieszczony w stanowisku badawczym zmiennymi obciążeniami: momentem siły ΔM , siłą ΔF , zmienia jego długość Δl lub prędkość przemieszczania ΔV . Zadaniem programowalnego systemu sterowania jest takie zarządzanie pracą elementów sterujących układu hydraulicznego i stanowiska badawczego, aby na badany obiekt oddziaływały odpowiednie obciążenia lub inne wymuszenia skoordynowane z działaniem elementów stanowiska badawczego. Układ diagnostyczny spełniający również funkcje pomiarowe zapewnia prawidłową pracę automatycznie działających bloków urządzenia, np. regulację temperatury czynnika, dokonuje odpowiednich pomiarów i gromadzi ich wyniki, stanowiące efekt eksperymentu oraz realizuje sprzężenia zwrotne, kontrolując wartości i przebiegi zadawanych obciążeń i wymuszeń [3, 4].

2. Opis urządzenia do badania narzędzi hydraulicznych stosowanych w ratownictwie technicznym

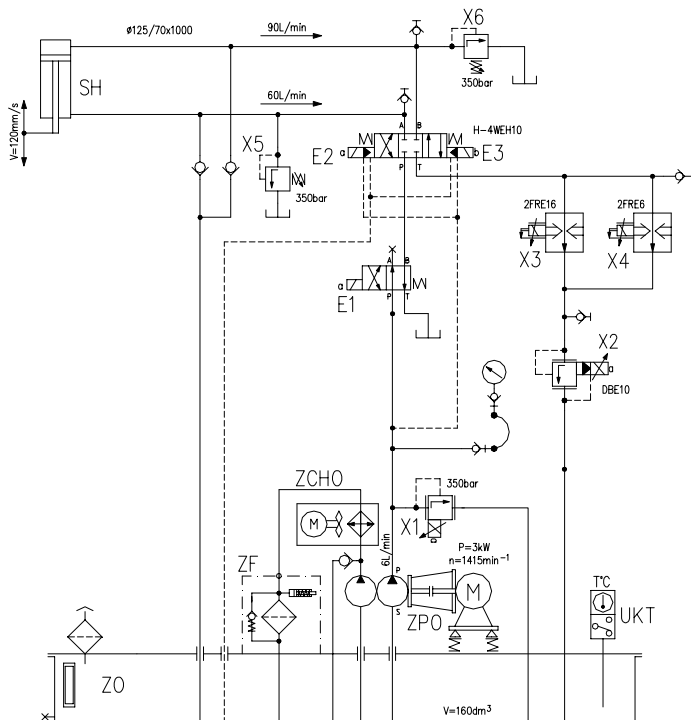
Jednym z przykładów urządzenia badawczego, w którym zastosowano hydrauliczny układ obciążający z techniką proporcjonalną, jest zaprojektowane i zbudowane w Instytucie Technologii Eksploatacji – PIB w Radomiu stanowisko do badania narzędzi hydraulicznych, stosowanych w ratownictwie technicznym (rys. 2). Należą do nich cylindry rozpierające i podnoszące, rozpieracze szczękowe i narzędzia rozpierająco-tnące typu *combi*. Stanowią one podstawowe wyposażenie służb ratowniczych, usuwających między innymi skutki wypadków komunikacyjnych. Narzędzia takie są wyposażone we własne, przenośne, hydrauliczne układy zasilające, napędzane silnikami spalinowymi.

Podstawowe wymagania, jakie muszą spełniać narzędzia, są określone w normatywach (PN-EN 13204: 2005 (U) – Hydrauliczne narzędzia ratownicze dwustronnego działania dla straży pożarnej. Wymagania eksploatacyjne i dotyczące bezpieczeństwa). Najważniejsze z nich to wytrzymałość, maksymalna siła działania narzędzia, prędkość ruchu elementów roboczych i zdolność wykonania zadanej liczby cykli pracy w określonym czasie. Dodatkowe wymagania, jakie stawia jednostka atestująca (Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej) to odpowiednia zależność siły wywieranej przez narzędzie od położenia i prędkości przemieszczania jego elementów roboczych [5].

W urządzeniu badawczym, za pomocą którego możliwe jest przeprowadzenie opisanych testów, układ hydrauliczny wykorzystujący elementy techniki proporcjonalnej spełnia rolę obciążenia czynnego lub biernego badanego narzędzia. Badane narzędzie hydrauliczne z własnym systemem zasilania jest połączone końcówkami elementów roboczych z czujnikiem siły F i końcem tłoczyńska siłownika hydraulicznego. Ruch roboczy narzędzia uruchamianego za



Rys. 2. Schemat blokowy stanowiska z programowalnym, hydraulicznym układem obciążającym do badań funkcjonalnych i trwałościowych narzędzi ratowniczych



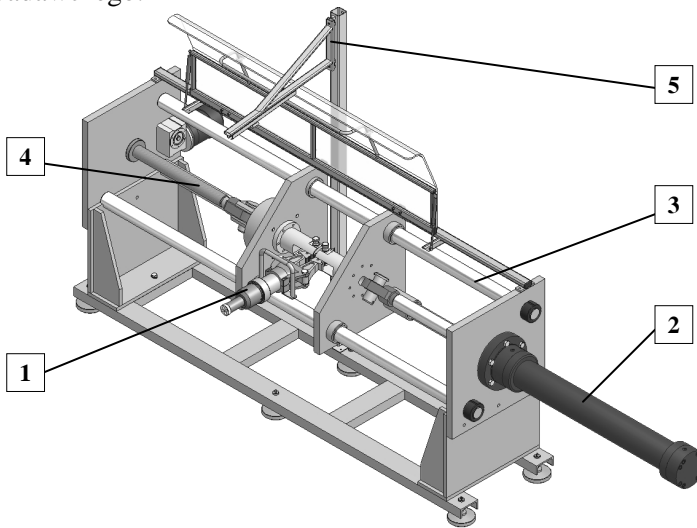
Rys. 3. Schemat ideowy hydraulicznego systemu zasilania stanowiska badawczego: ZO – zbiornik oleju, ZPO – zespół pomp olejowych, ZF – zespół filtracyjny, ZCHO – układ chłodzenia, X1, X2 – zawory proporcjonalne regulacji ciśnienia, X3, X4 – zawory proporcjonalne regulacji przepływu, X5, X6 – zawory przelewowe, E1 – zawór rozdzielający 4/2, E2/E3 – zawór rozdzielający 5/3, S – siłownik hydrauliczny

pomocą pneumatycznego manipulatora powoduje przemieszczanie tłoczyska siłownika. Wartość przemieszczenia jest mierzona przez czujnik Δl . Hydrauliczny system zasilania, którego schemat przedstawiono na rys. 3, poprzez odpowiednie sterowanie ciśnieniem i przepływem oleju w przewodach siłownika zadaje siłę, z jaką oddziałują na siebie siłownik i narzędzie lub prędkość przemieszczania tłoczyska. Realizowanym procesem zarządza system sterowania, który wywołuje kolejne cykle pracy, sterując manipulatorem pneumatycznym, zadaje parametry testu, sterując hydraulicznym systemem zasilania i rejestruje oraz przetwarza wyniki dokonanych pomiarów F i Δl .

W hydraulicznym systemie zasilania zastosowano cztery zawory proporcjonalne, pozwalające na elektryczne sterowanie przebiegami wartości parametrów realizowanego testu:

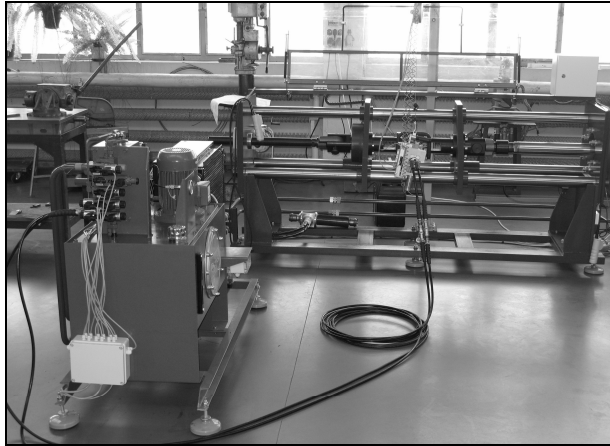
- zawór proporcjonalny regulacji ciśnienia X1 do sterowania przebiegiem wartości obciążenia czynnego wywieranego na badany obiekt,
- zawór proporcjonalny regulacji ciśnienia X2 do sterowania przebiegiem wartości stawianego oporu biernego,
- zawory proporcjonalne, sterujące przepływem X3 i X4 o różnych zakresach regulacji, do sterowania wartością prędkości przemieszczania elementów roboczych narzędzia.

Na rys. 4 przedstawiono komputerowy model przestrzenny konstrukcji stanowiska badawczego.



Rys. 4. Komputerowy model przestrzenny konstrukcji stanowiska badawczego: 1 – badane narzędzie, 2 – siłownik hydrauliczny, 3 – prowadnice liniowe, 4 – śruba do regulacji zakresu ruchu narzędzia, 5 – wspornik do zawieszenia narzędzia

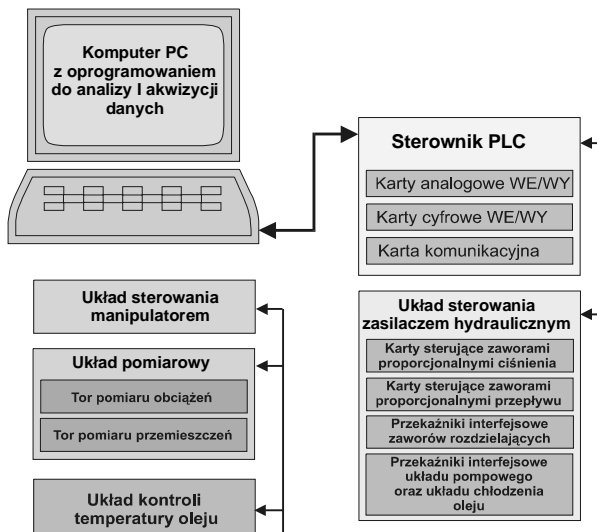
Widok urządzenia do badania ratowniczych narzędzi hydraulicznych w trakcie realizacji badań weryfikacyjnych zaprezentowano na rys. 5.



Rys. 5. Widok urządzenia do badania ratowniczych narzędzi hydraulicznych

3. System sterowania urządzeniem do badania narzędzi hydraulicznych i przykładowe wyniki badań

System sterowania pracą urządzenia do badania narzędzi hydraulicznych, połączony z układami pomiarowymi, wykonano w oparciu o sterownik PLC wyposażony w moduły wejść i wyjść cyfrowych i analogowych, pozwalające na sterowanie pracą całego urządzenia i dokonywanie pomiarów przebiegu siły i przemieszczenia (rys. 6).

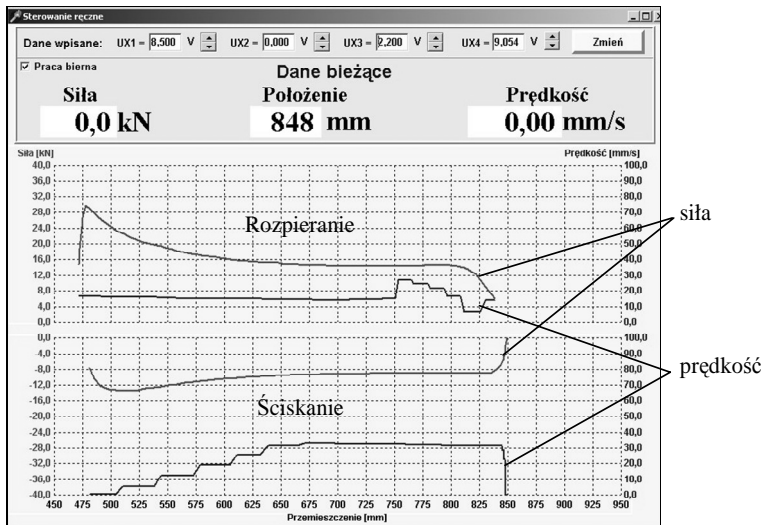


Rys. 6. Schemat blokowy systemu sterowania, regulacji i pomiarów

W celu zadawania parametrów przeprowadzanych prób, obserwacji przebiegu testów oraz akwizycji i obróbki wyników pomiarów opracowano program na komputer PC. Program ten pozwala na łączenie ze sterownikiem PLC poprzez łącze szeregowo i wymianę danych.

System oprócz sterowania pracą hydraulicznego układu obciążającego, automatycznie kontroluje temperaturę czynnika hydraulicznego, zarządza pracą układów mierzących siłę wywieraną przez badane narzędzie i przesunięcie jego elementów roboczych oraz steruje manipulatorem uruchamiającym poszczególne cykle pracy narzędzia.

W rezultacie przeliczenia wyników pomiarów siły i przemieszczenia możliwe jest określenie charakterystyki badanego narzędzia w postaci przebiegu siły i prędkości przemieszczania jego elementów roboczych w funkcji położenia (rys. 7).



Rys. 7. Wyniki badań przebiegów siły wywieranej przez rozpieracz szczękowy oraz prędkości przemieszczania się jego elementów roboczych w funkcji przemieszczenia

Wykorzystując regulację prędkości za pomocą zaworów X3 lub X4 i ciśnienia za pomocą zaworów X1 i X2 (rys. 3), możliwe jest wyznaczenie maksymalnych sił narzędzia lub maksymalnej prędkości jego działania przy założonych siłach. Test trwałościowy polega na wykonaniu określonej liczby cykli pracy narzędzia z zadanymi parametrami oraz kontroli poprawności jego działania podczas testu i po jego zakończeniu. Narzędzie wraz z zasilaczem zawiera wysokociśnieniowy układ hydrauliczny o małej pojemności, w którym może dojść do przegrzania czynnika i znacznych deformacji cieplnych elementów sterujących oraz ich blokowania. Taki test jest realizowany automatycznie dzięki zasto-

sowaniu sterowanego manipulatora pneumatycznego, a parametry pracy badanego obiektu są przez cały czas mierzone i zapisywane w pamięci komputera.

Podsumowanie

Zastosowanie w hydraulicznych układach obciążających elementów techniki proporcjonalnej daje bardzo duże możliwości sterowania przebiegiem wywieranych obciążeń i prędkością realizowanych ruchów roboczych. Przy zastosowaniu programowalnych sterowników i odpowiedniego oprogramowania komputerowego możliwa jest automatyczna realizacja praktycznie dowolnych przebiegów czasowych wywieranych obciążeń i ich korelacja z pracą pozostałych układów funkcjonalnych urządzeń badawczych lub technologicznych.

Urządzenie badawcze wyposażone w hydrauliczny układ z techniką proporcjonalną i komputerowy system sterowania pozwala na przeprowadzanie w cyklu automatycznym długotrwałych, złożonych eksperymentów polegających na badaniu zachowania się obiektu pod działaniem zmiennych w czasie obciążeń i wymuszeń zaprogramowanych i zapisanych w pamięci układu sterującego.

Na przykładzie urządzenia do badania narzędzi hydraulicznych można stwierdzić, że zastosowanie w badaniach wytrzymałościowych i funkcjonalnych hydraulicznego układu obciążającego z techniką proporcjonalną dało możliwość zadawania parametrów pracy i wymuszeń badanych obiektów odwzorowujących rzeczywiste warunki użytkowe lub wymagane przez standardowe procedury badawcze oraz pozwoliło na identyfikację krytycznych z punktu widzenia ich przydatności i bezpieczeństwa technicznego charakterystyk roboczych.

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

Bibliografia

1. Dörr H. et al.: Vademecum hydrauliki. T. 2 „Technika hydraulicznego sterowania zaworami proporcjonalnymi i serwozaworami”. MENNESMANN REXROTH GmbH.
2. Drexler P. et al.: Vademecum hydrauliki., T. 3 „Projektowanie i konstruowanie układów hydraulicznych”. MENNESMANN REXROTH GmbH.
3. Samborski T., Wojutyński J., Matecki K., Dobrodziej J., Kozioł S.: Komora do badań termomechanicznych izolatorów elektroenergetycznych. PIRE – Projektowanie i Innowacje w Remontach Energetycznych, Ustroń 2008.

4. Kozioł S., Majcher A., Matecki K., Samborski T.: A mechanical system for force delivery to a high vacuum chamber. *Problemy Eksploatacji*, 2006, 4, 153–159.
5. Czarnecki R., Czerwienko D., Prasła J., Sural Z.: Opracowanie metodyki wyznaczania w czasie rzeczywistym sił rozpierania i ciągnięcia w funkcji przemieszczenia końcówek roboczych narzędzi hydraulicznych. Sprawozdanie z realizacji zadania badawczego, CNBOP, Józefów 2006.

Recenzent:

Sławczo DENCZEW

The application of the proportional technique in the hydraulic loading systems of research apparatus

Key words

Hydraulic driver, proportional technique, hydraulic tools research.

Summary

The article presents the construction and principles of the operation of hydraulic actuators and loading systems which use elements of proportional high pressure hydraulics and the concept of their application in stands designed for resistance, durability and function tests. Electronic control of the operation of those systems provides a wide variety of possibilities for the modelling of test conditions and the automation of long-lasting, cyclic research processes. The test stand for hydraulic rescue tools with an intelligent hydraulic loading system, which uses the proportional technique, has been constructed in the Institute for Sustainable Technologies – NRI. Within tests performed at the stand, there is the possibility of applying active and reactive loads representing the actual operating conditions, the testing of the characteristics of working tools as well as carrying out attestation tests. The block diagram of the stand, the hydraulic system of its supply, and the system of control, regulation, and measurements, have been presented, as well as examples of the test results of a wheel cylinder.