

# Budowa uniwersalnego stanowiska do badań elementów hydrauliki sterowniczej maszyn górniczych

Dawid Szurgacz

## 1. Wprowadzenie

Podstawą w pełni zmechanizowanego górnictwa jest system elektrohydraulicznego sterowania procesem wydobywania. Zaprojektowany system może prowadzić automatyczną kontrolę urządzeń produkcyjnych oraz wpływać na efektywność produkcji i warunków bezpieczeństwa pracy [2, 9, 10]. Badania wykazały, że ściana ze sterowaniem elektrohydraulicznym, jeśli jest prawidłowo eksploatowana, staje się ścianą o wiele bezpieczniejszą od ściany tradycyjnej [3, 8, 4]. W najbliższych latach w polskim górnictwie będzie się dążyć do tego, że nieliczna załoga będzie sterowała maszynami kompleksu ścianowego. Zwiększając bezpieczeństwo załogi podczas urabiania węgla, również istotne jest zmniejszenie awarii maszyn i urządzeń realizujących procesy technologiczne związane z wydobywaniem węgla.

Zmechanizowana obudowa ścianowa w kompleksie ścianowym jest wyposażona w układ hydrauliki sterującej tą maszyną. Układ ten realizuje również funkcję bezpieczeństwa przed przeciążeniem wynikającym z obciążenia górotworu. Obciążenie dynamiczne wywołane eksploatacją górnictwem oddziałuje na elementy i zespoły mechaniczne, jak i całą sekcję obudowy zmechanizowanej, niekorzystnie wpływa na ich trwałość i niezawodność. W przypadku dynamicznego obciążenia spowodowanego wyładowaniem energii nagromadzonej w górotworze stojak hydrauliczny obudowy ścianowej wyposaża się w układ zabezpieczający przed negatywnymi skutkami tych obciążeń [5, 6, 7]. Odpowiednio dobrany układ

**Streszczenie:** Przedstawione uniwersalne stanowisko do badań elementów hydrauliki sterowniczej maszyn górniczych jako efekt wieloletniej pracy Centrum Hydrauliki na udoskonalaniu układów elektrohydraulicznego sterowania. Pokazana budowa stanowiska, w którym podstawowym elementem jest moduł sterująco-pośredniczący, opracowany z wykorzystaniem karty cRIO9030 firmy National Instruments. Stanowisko umożliwia opracowanie, uruchamianie i modyfikowanie oprogramowania oraz tworzenie wirtualnych sterowników. Również możliwe jest prowadzenie pomiarów ener-

gii potrzebnej do sterowania wybranymi typami elektrozaworów, uruchamiające poszczególne funkcje maszyny. Oprogramowanie stanowiska badawczego powstało na bazie aplikacji LabView i umożliwia prowadzenie testów elementów sterowania oraz wizualizacji parametrów ich pracy. Możliwa jest również modyfikacja funkcjonalności stanowiska badawczego zależnie od aktualnie realizowanych badań.

Słowa kluczowe: hydraulika sterownicza, system sterowania, stanowisko badawcze, aplikacja pomiarowa, pomiar testowy

## CONSTRUCTION OF A UNIVERSAL TEST STAND FOR RESEARCH ON ELEMENTS OF CONTROL HYDRAULICS OF MINING MACHINES

**Abstract:** Presented universal stand for testing components of control hydraulics of mining machines is as a result of long-standing work carried out by Center of Hydraulics DOH Ltd. focused on the improvement of the electrohydraulic control systems. The construction of the stand where the basic element is a control and intermediate module developed with the use of cRIO9030 card manufactured by National Instruments. The stand allows the development, commission and modification of the software, and to create virtual drivers. Moreover, it is possible

to carry out measurements of the energy required to control selected types of solenoid valves that initiate chosen machine functions. Software of the test stand was created based on LabView application and allows conducting tests of control elements and parameters visualization and their operation. It is also possible to modify the functionality of the test stand, depending on ongoing research.

Keywords: control hydraulics, control system, test stand, measuring application, test measurement

zabezpieczający zmechanizowaną obudowę charakteryzuje się przepływem cieczy w przestrzeni hydraulicznej stojaka,

co znacząco wpływa na ograniczenie ciśnienia poprzez zawór bezpieczeństwa, wyprowadzony na zewnątrz układu [6].

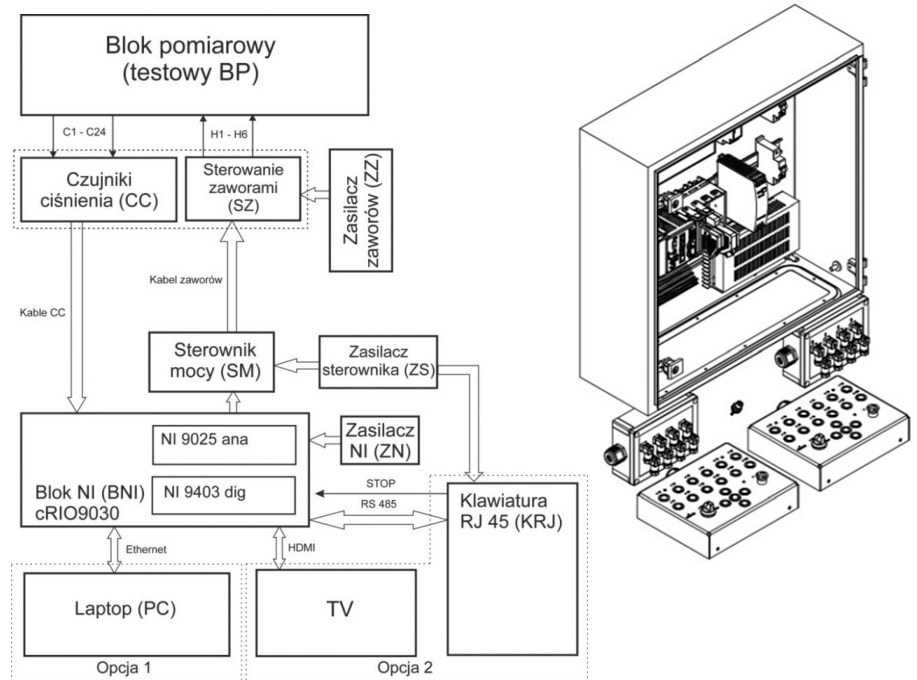
Jakościowe i ilościowe określenie poziomu bezpieczeństwa pracy układu sterowania maszyny górniczej wymaga przeprowadzenia badań mających na celu wyznaczenie charakterystyk statycznych i dynamicznych oraz wpływu na przeciążenie. Aby można było prowadzić takie badania, zaprojektowano i wykonano uniwersalne stanowisko badawcze, które między innymi umożliwia prowadzenie testów działania poszczególnych elementów układu sterowania maszyną. Główną zaletą stanowiska jest zabudowany moduł sterująco-pośredniczący, który został opracowany z wykorzystaniem karty cRIO9030 firmy National Instruments.

Podjęmowane w ostatnich latach badania nad polepszeniem własności użytkowych układów sterowania maszyn dla górnictwa spowodowane są rosnącymi wymaganiami przemysłu wydobywczego odnośnie do niezawodności i trwałości elementów sterujących maszyn pracujących w niezwykle trudnych warunkach. Sprostanie tym wymaganiom jest możliwe poprzez prowadzenie ciągłego monitoringu oraz diagnostyki w stanowisku badawczym elementów układu sterowania ulegającym ciągłym uszkodzeniom.

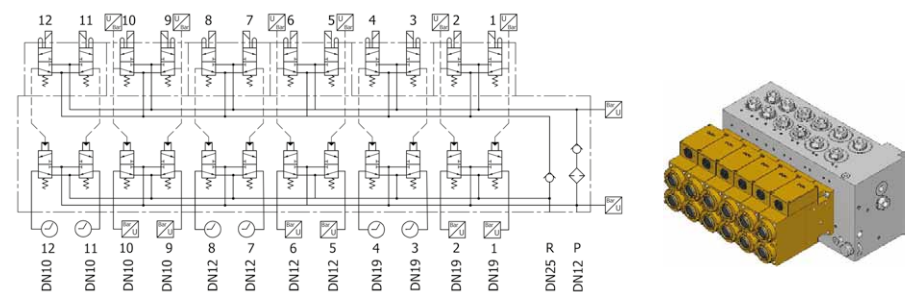
Zamierzeniem przedstawionego oryginalnego stanowiska badawczego do badań elementów hydrauliki sterującej maszyn górniczych, które zostało zaprojektowane i wykonane w Centrum Hydrauliki, jest prowadzenie badań nad rozwojem systemów sterowania elektrohydraulicznego zmechanizowanej obudowy ścianowej.

## 2. Budowa stanowiska pomiarowego

Opracowana koncepcja uniwersalnego stanowiska badawczego dla prowadzenia badań nad poszczególnymi elementami sterowania zmechanizowanej obudowy ścianowej. W pierwszym etapie powstawania stanowiska badawczego zamodelowano przy użyciu oprogramowania Autodesk Inventor schemat blokowy i wirtualny dla powstania prototypu. W jego skład wchodzi blok NI cRIO9025, który połączony jest z komputerem PC, oraz sterowniki mocy (SM) zasilanego zasilaczem sterownika (ZS). Poprzez kabel zaworów połączono sterowanie



Rys. 1. Schemat blokowy i wirtualny prototypu uniwersalnego stanowiska badawczego



Rys. 2. Schemat hydrauliczny i widok elektrohydraulicznego bloku wykonawczego

zaworami (SZ) dla testowania bloków pomiarowych. Poprzez czujnik ciśnienia (CC) uzyskujemy informację o przeprowadzonym pomiarze. Omawiany schemat blokowy i wirtualny stanowiska przedstawiono na rysunku 1 [1].

Dla przeprowadzenia wstępnych pomiarów opracowano i wykonano specjalny blok wykonawczy elektrohydrauliczny dla sterowania zmechanizowaną obudową ścianową. W bloku elektrohydraulicznym wyodrębni się część elektrohydrauliczną (tzw. sterującą) i część hydrauliczną (tzw. wykonawczą). Część

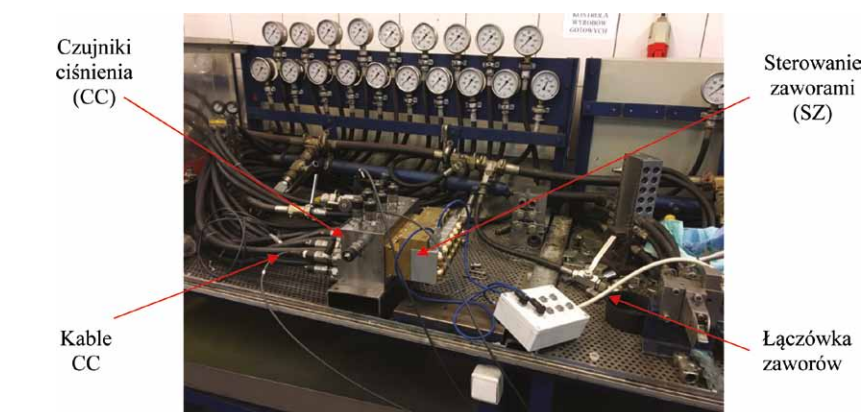
elektrohydrauliczna (sterująca) to zestaw zaworów elektromagnetycznych, z których każdy składa się z 4/3 drogowego zaworu sterującego DN2 i podwójnego elektromagnesu iskrobezpiecznego z ogranicznikiem prądowym lub bez. Część hydrauliczną (wykonawczą) stanowi zabudowana w korpusie grupa 3/2 drogowych wkładów zaworowych DN12 lub DN20 realizujących funkcje wykonawcze. 4/3 drogowy zawór sterujący po otrzymaniu impulsu mechanicznego od podwójnego elektromagnesu przestawiają 3/2 drogowy wkład zaworowy,

przez które przepływa odpowiednia ilość emulsji do sterowania poszczególnymi siłownikami. Podwójny elektromagnes zaworu elektromagnetycznego jest miejscem łączącym elektroniczne i hydrauliczne sterowanie. Schemat hydrauliczny bloku oraz jego widok przedstawiono na rysunku 2.

Na rysunku 3 przedstawiono pierwszą część stanowiska badawczego reprezentującą model obudowy ścianowej, w skład której wchodzi zawory wykonawcze z bezpośrednim sterowaniem (SZ), zespół czujników ciśnienia (CC) i manometry, umożliwiające bieżącą obserwację ciśnienia w członach wykonawczych elementów sekcji obudowy ścianowej. Sprzęg pomiędzy blokiem pomiarowym stanowiska badawczego i modelem modułu sterująco-pośredniczącego obudowy realizowany jest poprzez łączówkę zaworów i kabel czujników ciśnienia [1].

Druga część stanowiska badawczego, przedstawiona na rysunku 4, odpowiada modułowi sterująco-pośredniczącemu i centralnemu modułowi komunikacyjnemu obudowy. Podstawowym elementem stanowiska badawczego jest moduł sterująco-pośredniczący, który został opracowany z wykorzystaniem karty cRIO9030 firmy National Instruments. Moduł ten wyposażony jest w dwa różne interfejsy operatora. W pierwszej wersji operator może komunikować się poprzez łącze Ethernet, wykorzystując do tego celu komputer PC (umożliwia opracowanie, uruchamianie i modyfikowanie oprogramowania oraz tworzenia wirtualnych sterowników). W drugiej wersji, dedykowanej dla codziennej eksploatacji stanowiska badawczego w oparciu o wirtualny model modułu sterująco-pośredniczącego lub centralnego modułu komunikacyjnego, interfejs operatora stanowi klawiatura połączona do modułu BNI poprzez interfejs RS485 oraz podłączony poprzez łącze HDMI monitor lub odbiornik TV [1].

Pozostałymi elementami stanowiska badawczego są trzy zasilacze: zaworów (ZZ) – odseparowany galwanicznie zasilacz zaworów wykonawczych obudowy zmechanizowanej, sterownika (ZS), który zasilają sterowniki mocy, bezpośrednio otwierający elektrozawory



Rys. 3. Stanowisko badawcze – blok pomiarowy



Rys. 4. Stanowisko badawcze – moduł sterująco-pośredniczący

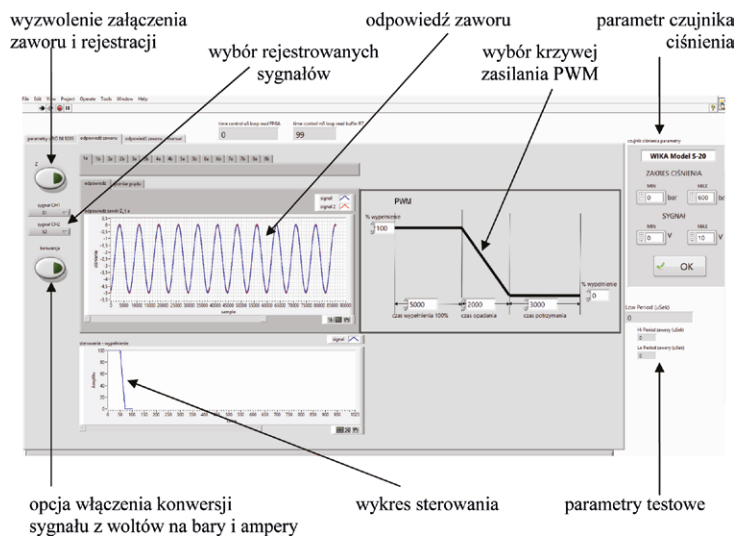
i klawiaturę (KRJ) oraz zasilacz NI (ZNI) – zasilacz firmy National Instruments przeznaczony do zasilania modułu sterującego pomiarowego cRIO9030 (BNI). Moduł BNI steruje zaworami obudowy za pośrednictwem opracowanego w ramach zadania sterownika mocy (SM), a także odczytuje z bloku pomiarowego wskazania czujników ciśnienia (CC).

### 3. Opis aplikacji pomiarowej

Oprogramowanie stanowiska badawczego (zostało zobrazowane na rysunkach od 5 do 7) zaimplementowane na karcie NI9403 umieszczonej w module cRIO9030 (BNI) powstało na bazie aplikacji LabView i umożliwia prowadzenie testów elementów sterowania

oraz wizualizacji parametrów ich pracy przedstawionych na rysunkach do 8 do 10.

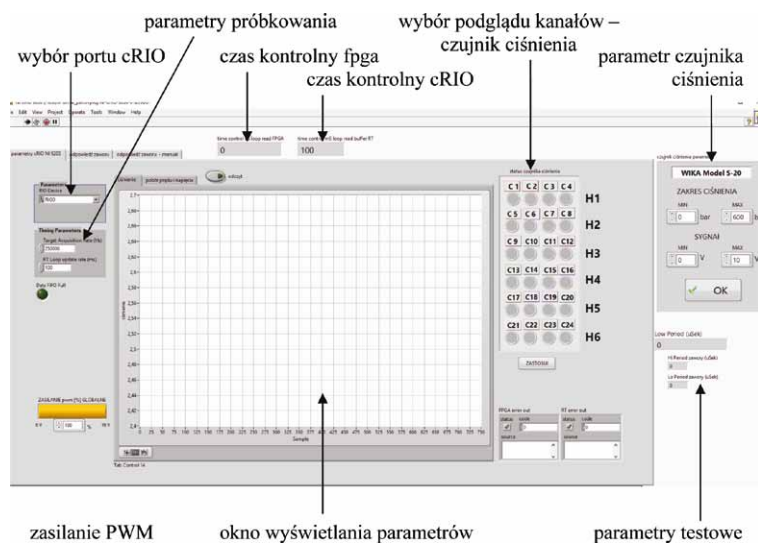
Stanowisko badawcze, pełniąc rolę modułu sterująco-pośredniczącego, steruje wykonawczym blokiem elektrohydraulicznym i umożliwia prowadzenie pomiarów energii potrzebnej do sterowania wybranymi typami elektrozaworów uruchamiających poszczególne funkcje sekcji obudowy zmechanizowanej. Pierwsze okno aplikacji testowej stanowiska badawczego (rys. 5) zawiera elementy umożliwiające wybór sposobu i parametrów sterowania zaworem sekcji obudowy (czas i przebieg wypełnienia PWM zasilania zaworu oraz rejestracje (do pliku) i wizualizacje (w trybie online) przebiegów czasowych



Rys. 5. Okno testowania charakterystyki pracy zaworu

wybranych parametrów procesu sterowania zaworem (prądu sterującego zaworem i ciśnienia).

Kolejna zakładka aplikacji to okno parametrów modułu cRIO NI9205. Pozwala na wybór portu cRIO, zadanie czasu próbkowania oraz interwału, po którym ma być powtarzana pętla główna *while* programu uruchamianego na pokładzie platformy RIO. Okno aplikacji pozwala dodatkowo na dokonywanie kontroli czasów pętli głównej wykonywanej na pokładzie układu FPGA oraz pętli cRIO. Okno to zawiera również kontrolę umożliwiającą sterowanie wypełnieniem PWM zasilania globalnego, a także wykres pozwalający na podgląd danych z czujników ciśnienia oraz okno wyboru, których czujnik ma zostać wyświetlony.

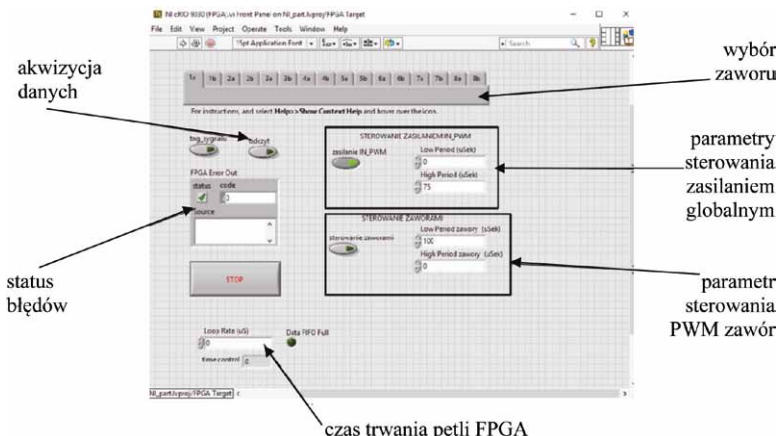


Rys. 6. Okno parametrów cRIO

Widok okna głównego aplikacji, syntezywanej na pokładzie układu FPGA, został przedstawiony na rysunku 7. Służy ona do bezpośredniego sterowania wypełnieniem zaworów (można wybrać zawór oraz parametry), z pominięciem aplikacji cRIO. Dodatkowo aplikacja odpowiedzialna jest za sterowanie zasilaniem głównym. Zadaniem programu jest również akwizycja danych z czujników ciśnienia, ich gromadzenie oraz przekazywanie przy pomocy kolejek i buforów danych do aplikacji nadrzędnej cRIO.

Na potrzeby poglądu i wstępnej analizy (porównania) uzyskanych w trakcie pomiarów danych utworzono aplikację, której widok z przykładowymi przebiegami czasowymi otwarcia, trzech różniących się parametrami DN (średnica wkładu zaworowego) został przedstawiony na rysunku 8.

Rysunki 9 i 10 przedstawiają okno opracowanej aplikacji prezentujące wyniki pomiarów charakterystyk czasowych otwarcia wkładu zaworowego DN10 dla różnych ciśnień w magistrali zasilającej oraz prądu zasilania elektrozaworu.



Rys. 7. Okno aplikacji programu syntezywanego na pokładzie układu FPGA

#### 4. Opis protokołu komunikacyjnego

Protokół komunikacyjny jest zbudowany z nagłówka typu ramki, znacznika czasowego, adresu odbiorcy i nadawcy, licznika ramek zawierających wartości z wejść czujników analogowych

i cyfrowych, pozycję kombajnu, diagnostykę elektrozaworów oraz parametry związane ze sterowaniem zabezpieczono sumą kontrolną  $\text{crc16}$ . Na potrzeby

testów i weryfikacji protokołu komunikacyjnego opracowano aplikację, która umożliwia pracę w trybie *slave*, prezentując wykonywanie określonych funkcji

sekcji obudowy, oraz w trybie *master*, wirtualnej klawiatury sterownika sekcji umożliwiającej wywołanie funkcji sterujących obudowy. Na potrzeby realizacji wirtualnego modelu centralnego modułu komunikacyjnego przygotowano i zaimplementowano w aplikacji sterującej stanowiskiem badawczym, protokół komunikacyjny przedstawiono w tabeli 1. Komunikacja pomiędzy panelem sterującym a sekcją odbiorczą odbywa się przy wykorzystaniu sprzęgu typu RS-485.

Przedstawione na rysunku 11 okno aplikacji (*slave*), które zawiera piktogramy przedstawiające funkcje sterujące obudowy, a piktogramy aktywnej funkcji podświetla się na żółto.

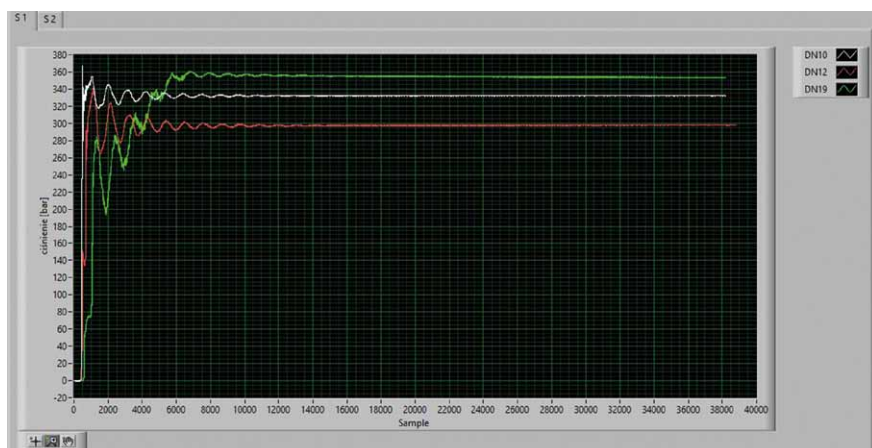
Przedstawiona na rysunku 12 wirtualny panel klawiatury, zawiera zakładkę sterowania dla centralnego modułu komunikacyjnego. Okno pozwala na wybór statusu połączenia portu oraz pozwala na uruchomienie cyklicznego wysyłania (co 1 sekundę) ramek, które wysyłane są także po naciśnięciu i zwolnieniu przycisku funkcji sterującej sekcji obudowy.

Tryb sterowania umożliwia również symulowanie wejść pomiarowych (wartości czujników ciśnienia) oraz innych parametrów opisujących stan sekcji, alarmy czy funkcje dodatkowe, co będzie wykorzystywane w kolejnym etapie projektu w trakcie opracowania czujników określających ustawienie i położenie elementów sekcji obudowy.

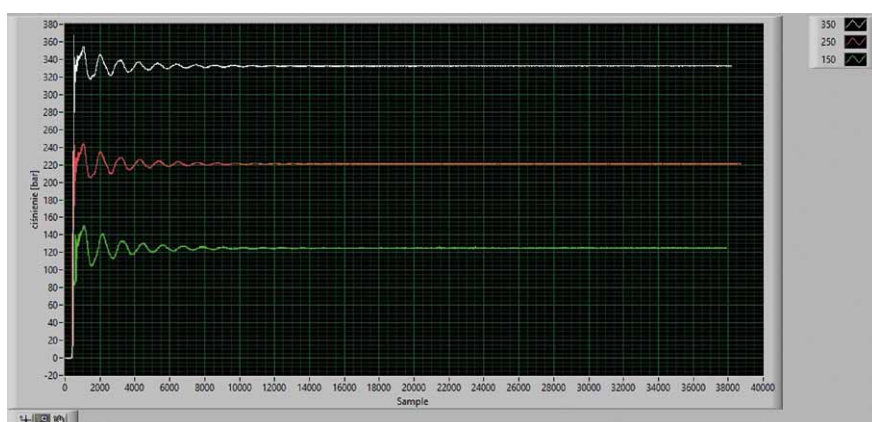
Tak przygotowane aplikacje umożliwiają zarówno modyfikację funkcjonalności stanowiska badawczego, zależnie od aktualnie realizowanych badań, jak i przeprowadzenie badań funkcjonalnych wirtualnych modeli modułu sterująco-pośredniczącego oraz centralnego modułu komunikacyjnego.

## 5. Podsumowanie

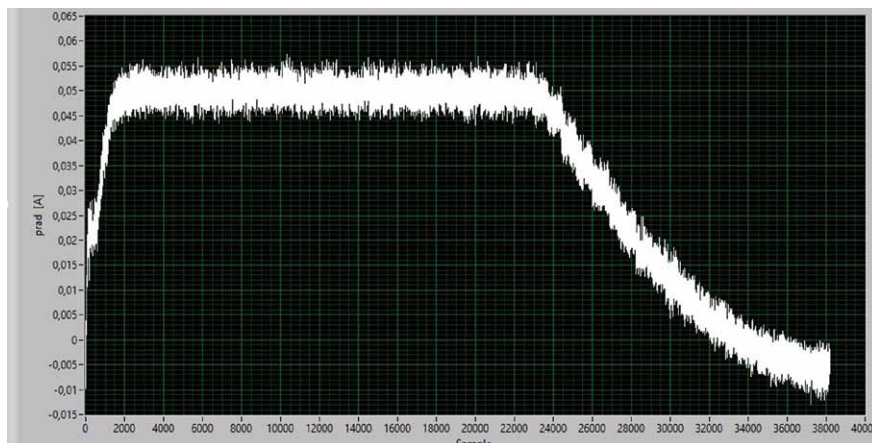
Obecnie produkowane układy hydrauliki sterującej maszyn górniczych, między innymi zmechanizowanej obudowy ścianowej, biorące bezpośrednio udział w procesie wydobywania węgla, powoduje konieczność zabezpieczenia przed przeciążeniem. Występujące przeciążenie układu hydraulicznego jest znaczącym powodem występowania niekorzystnych obciążeń dynamicznych. Nowym



Rys. 8. Charakterystyki czasowe otwarcia zaworów DN10, DN12, DN19 przy ustalonym ciśnieniu zasilania 350 barów



Rys. 9. Odpowiedź wkładu zaworowego DN10 dla różnych wartości ciśnienia 150, 250 i 350 barów



Rys. 10. Pomiar prądu elektrozaworu sterującego wkładem zaworowym DN10

Tabela 1. Protokół komunikacyjny

Bajty informacyjne sterowanie transmisją			Rozmiar 20 bajtów:		
Adres		Długość	Nazwa	Wartość def.	Opis
dec	hex				
0	0x00	4	header	FF,"DOH"	bajty synchronizujące początek transmisji
4	0x04	1	type	1	typ ramki, chwilowo tylko jeden typ
5	0x05	4	stamp	-	znacznik czasowy, w formacie <i>Unit time</i>
9	0x09	4	destin	-	adres odbiorcy
13	0x0D	4	source	-	adres nadawcy
17	0x11	2	debug_byte	-	licznik ramek
19	0x13	1	reserve	0	
Wejścia pomiarowe			Rozmiar 28 bajtów:		
Wejścia czujników analogowych (8) i cyfrowych (3)					
20	0x14	2	anal_pom1	-	czujniki analogowe 0,5-4,5 V
22	0x16	2	anal_pom2	-	
24	0x18	2	anal_pom3	-	
26	0x1A	2	anal_pom4	-	
28	0x1C	2	anal_pom5	-	
30	0x1E	2	anal_pom6	-	
32	0x20	2	anal_pom7	-	
34	0x22	2	anal_pom8	-	
36	0x24	4	digit_pom1	-	czujniki cyfrowe
40	0x28	4	digit_pom2	-	
44	0x2C	4	digit_pom3	-	
Pozycja kombajnu			rozmiar: 1 bajt		
48	0x30	1	kombajn	-	
Diagnostyka elektrozaworów			rozmiar: 12 bajtów		
49	0x31	4	diag_base	-	diagnostyka podstawowa
53	0x35	8	diag_ext	-	diagnostyka rozszerzona
Sterowanie			rozmiar: 10 bajtów		
61	0x3D	4	button	-	stan przycisków bezpieczeństwa i blokady
65	0x3F	4	coil	-	
69	0x43	2	section	-	
71	0x45	1	extra	-	funkcje dodatkowe
72	0x46	2	alarm	-	
CRC					
74	0x48	2	crc	-	Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.
Suma:				66	

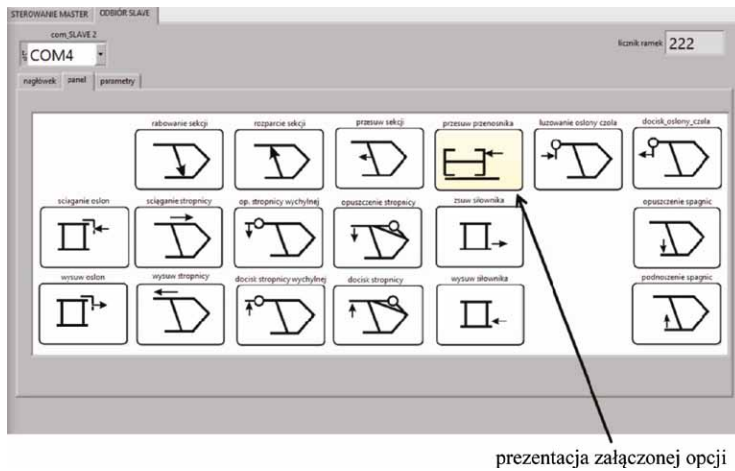
podejściem w tym zakresie jest wykorzystanie nowego uniwersalnego stanowiska badawczego do badań elementów sterowania układu hydraulicznego.

Stanowisko badawcze zostało zaprojektowane w Centrum Hydrauliki i jego koncepcja charakteryzuje się tym, że sterowanie wykonawczym blokiem elektrohydraulicznym umożliwia prowadzenie pomiarów energii potrzebnej do sterowania wybranymi typami elektrozaworów, uruchamiając poszczególne funkcje sekcji obudowy zmechanizowanej. Dodatkowym atutem jest opracowana aplikacja, która umożliwi pracę w trybie *slave* wykonując określone funkcje sekcji obudowy, oraz tryb *master* umożliwiający wywołanie określonych funkcji sterujących obudowy za pomocą wirtualnej klawiatury.

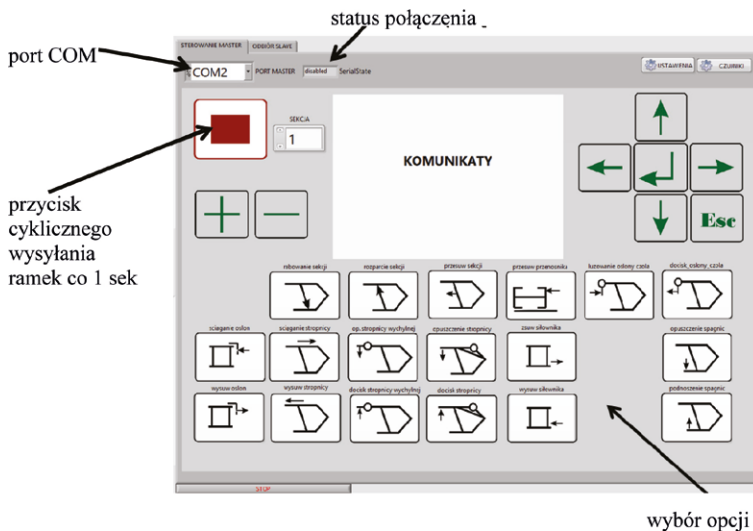
Przeprowadzone testy modelu stanowiska badawczego oraz jego oprogramowania pozwalają na wysunięcie wniosku, że tak opracowane stanowisko w przyszłości może być wykorzystywane do wstępnych badań prototypów nowo projektowanych elementów hydrauliki sterowniczej. Po niezbędnych modyfikacjach i opracowaniu nowych aplikacji stanowisko będzie wspomagało pracę działu projektowego, a także pozwoli na identyfikację problemów związanych ze zjawiskami zachodzącymi w instalacjach hydrauliki sterowniczej przy dużych prędkościach przepływu medium hydraulicznego pod wysokim ciśnieniem.

## Literatura

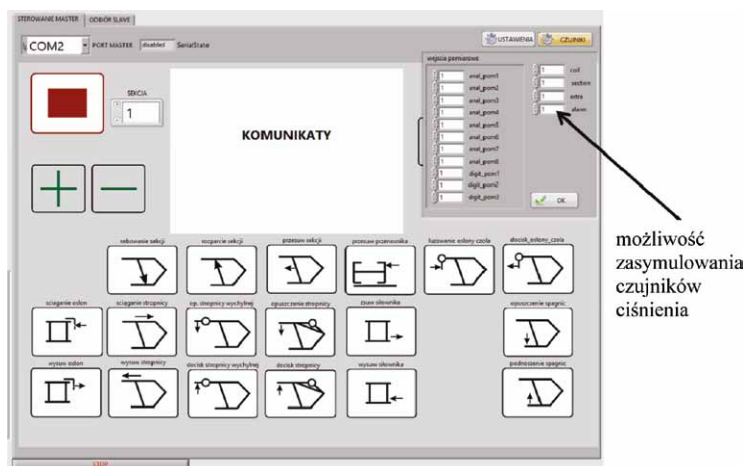
- [1] Dokumentacja stanowiska badawczego do badań elementów składowych systemu sterowania elektrohydraulicznego. Centrum Hydrauliki Bytom 2016, Nr DT-01/2016-1129/15.
- [2] JINGGUO WEN, ZISHENG LIAN: *The Communication Protocol Design of Electro-Hydraulic Control System for Hydraulic Supports at Coal Mine*. Web Information Systems and Mining Lecture Notes in Computer Science, 2011, 6987, pp. 73-78.
- [3] MING XIN LU, MING FENG LV, JU GUANG WANG, MIN LI, JIE ZHAO, YONG YI LIU, YANG ZHAO, JING WANG: *Intelligence Mining with Electro-Hydraulic Control*



Rys. 11. Okno trybu wizualizacji funkcji sekcji obudowy



Rys. 12. Okno wirtualnego centralnego modułu komunikacyjnego



Rys. 13. Okno wirtualnego centralnego modułu komunikacyjnego - symulacja czujników ciśnienia

*Technology Advanced Manufacturing Systems*. ICMSE 2011. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.201-203.425

- [4] SCHAEFFER M.: Longwall Automation: State of the Art., Joy Corp., Mine Expo International, Las Vegas 2008.
- [5] SZURGACZ D.: Zjawiska dynamiczne w obudowie zmechanizowanej spowodowane wstrząsami górotworu. „Wiadomości Górnicze” 10/2011.
- [6] SZURGACZ D.: Numerical analysis for an optimization of powered roof support operating in hazard condition of mining tremors. „Mining Science” Volume 22, Special Issue 2, Wrocław 2015, pp. 171–179.
- [7] SZURGACZ D.: Analiza przepływu w układzie hydraulicznym stojąka obudowy zmechanizowanej celem ograniczenia skutków tąpnięcia. Problemy transportu i przeróbki w górnictwie. Modelowanie procesów. Monografia, Kraków 2015, s. 240–246.
- [8] SZURGACZ D.: Electrohydraulic control systems for powered roof supports in hazardous conditions of mining tremors. „Journal of Sustainable Mining” Volume 14, Issue 4, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsm.2015.12.001>.
- [9] WEN J., LIAN Z.: The communication protocol design of electro-hydraulic control system for hydraulic supports at coal mine. Web Information Systems and Mining Lecture Notes in Computer Science, 2011. 6987, pp. 73–78.
- [10] YU YUESEN, DAI PENG, XU YAJUN, PENG LIMING, WU XIAOJIE: Research on electro-hydraulic control system for hydraulic support at coal mine. The 6th International Conference on Mining Science & Technology 2009.

Praca zrealizowana w ramach projektu: „Innowacyjny system elektrohydraulicznego sterowania zmechanizowanej obudowy ścianowej” nr POIR.01.01.01-00-1129/15. Program Operacyjny Inteligentny Rozwój 2014–2020 realizowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

dr inż. Dawid Szurgacz –  
Centrum Hydrauliki DOH Sp. z o.o.  
e-mail: dawidszurgacz@doh.com.pl