

Elektropneumatyczne sterowanie filtra samoczyszczącego

Krzysztof Nieśpiałowski

Electropneumatic control system for self-cleaning filter

Streszczenie:

W artykule przedstawiono elektropneumatyczny układ sterowania dedykowany do filtra samoczyszczącego FS-60 konstrukcji ITG KOMAG. Omówiono budowę i zasadę działania układu elektropneumatycznego. Rozwiązanie stanowi alternatywę dla istniejącego układu sterowania pneumatycznego. W artykule przedstawiono zalety i wady tego rozwiązania.

Słowa kluczowe: filtracja, filtr, filtr samoczyszczący, sterowanie, sterowanie elektropneumatyczne

Keywords: filtration, filter, self-cleaning filter, control system, electropneumatic control

Abstract:

The electropneumatic control system dedicated to FS-60 self-cleaning filter designed by KOMAG is presented. Design and principles of operation of the electropneumatic system is discussed. This solution is an alternative to the present pneumatic control system. Advantages and disadvantages of such a solution are given.

1. Wprowadzenie

Napęd i sterowanie pneumatyczne od dekad odgrywają znaczącą rolę w różnych gałęziach przemysłu, między innymi w górnictwie, budownictwie, kolejnictwie, motoryzacji, farmacji i innych. Obecnie, dzięki powszechności i dostępności urządzeń stanowiących źródła energii pneumatycznej, rozwojowi wiedzy w zakresie sterowania tą energią, pneumatyka stosowana jest chętnie i praktycznie w każdej gałęzi przemysłu. Istnieje wielu producentów pneumatyki, zarówno tej prostej jak i bardzo zaawansowanej. W ofertach handlowych można spotkać nie tylko składowe elementy pneumatyki ale także gotowe rozwiązania całych podsystemów [9, 10, 13, 14].

Połączenie sterowania elektrycznego i pneumatycznego stwarza możliwości wykorzystania zalet obu systemów. W sterowaniu elektropneumatycznym po stronie elektrycznej, stanowiącej część informacyjną, realizowane jest przetwarzanie i przenoszenie sygnałów sterujących, zaś po stronie pneumatycznej, stanowiącej część energetyczną, przenoszenie strumienia mocy i sterowanie odbiornikiem.

Zasadniczą zaletą sterowania elektropneumatycznego jest szybkość przenoszenia sygnałów na znaczne odległości. Szybkość przesyłu informacji po stronie elektrycznej, w połączeniu z szybkością działania napędu pneumatycznego, umożliwia w praktyce sterowanie przebiegiem szybkich procesów produkcyjnych [1, 11, 15].

Elektropneumatyczny układ sterowania filtra samoczyszczącego typu FS-60 jest rozwiązaniem alternatywnym istniejącego, pneumatycznego układu sterowania. Głównym założeniem wprowadzenia zmian w układzie sterowania była jego optymalizacja w zakresie zmniejszenia liczby elementów złącznych. Dotychczasowy układ wymaga zastosowania szeregu złączy i przewodów sprężonego powietrza, co niestety zwiększa ryzyko wystąpienia nieszczelności w układzie sterowania. Zaletą układu elektropneumatycznego jest realizacja

głównych funkcji logicznych sterowania na drodze elektrycznej. Pozwala to ograniczyć możliwe źródła wycieku sprężonego powietrza. Wadą zaś jest konieczność zastosowania dodatkowego źródła zasilania elektrycznego.

Dzięki swej konstrukcji, filtr FS-60, niezależnie od rodzaju sterowania, nie dopuszcza do wytrącania się węglanu wapnia na ściankach instalacji oraz zapobiega przedostawaniu się zanieczyszczeń zgrubnych bezpośrednio na powierzchnie filtracyjne wkładów. Rozwiązanie zapewnia wydłużony okres bezawaryjnej pracy filtra oraz urządzeń zasilanych wodą [6, 7, 12]. Filtr FS-60 przeznaczony jest do ciągłej i bezobsługowej pracy, wszędzie tam, gdzie wymagany jest odpowiedni stopień czystości medium hydraulicznego (wody), np.:

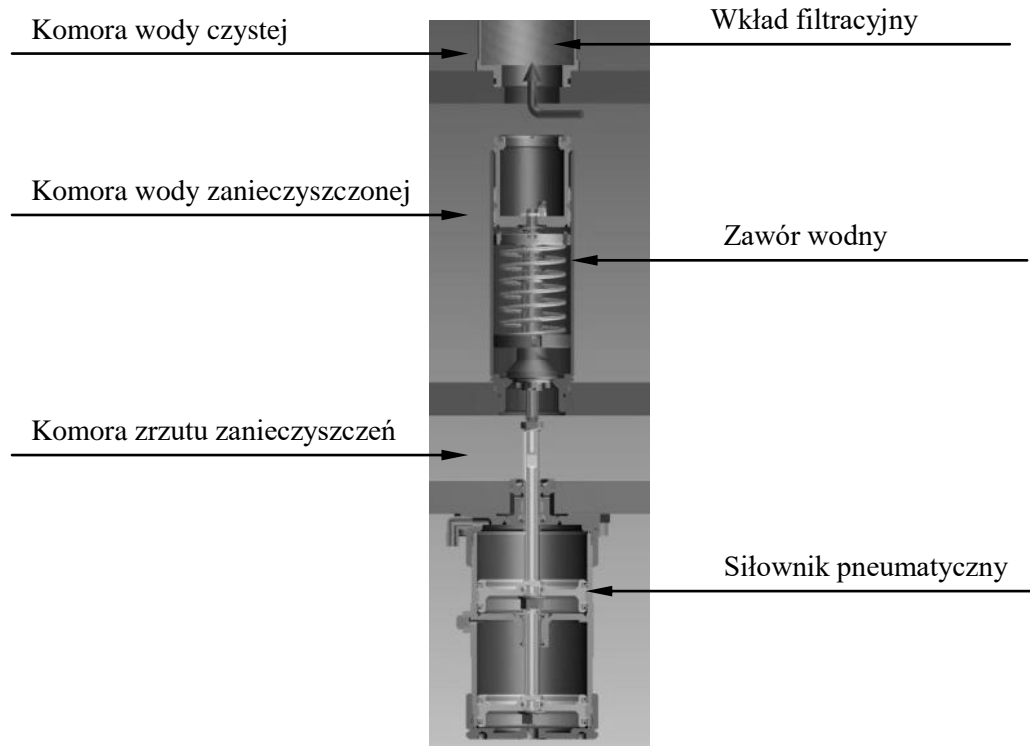
- w górnictwie odkrywkowym i głębinowym oraz wiertnictwie, gdzie należy zapewnić wysoką jakość wody zastosowanej do zraszania i płuczki,
- w elektrowniach, przy układach chłodzenia generatorów,
- w ciepłowniach, dla ochrony wymienników ciepła,
- w przemyśle stalowym, w systemach wody chłodzącej
- w oczyszczalniach ścieków przy procesie filtracji mechanicznej [5].

2. Budowa filtra

Filtr samoczyszczący FS-60 (rys. 1) wyposażony jest w układ czyszczenia składający się z sześciu zespołów filtracyjnych (rys. 2). Pojedynczy zespół składa się z wkładu filtracyjnego sterowanego niezależnym zaworem wodnym, w którym elementem wykonawczym jest dwutłokowy siłownik pneumatyczny. Układ sterowania umożliwia równoczesne wykorzystania wszystkich wkładów filtrujących w procesie filtracji wody, z krótkim wyłączeniem kolejnych wkładów na czas przepłukiwania.

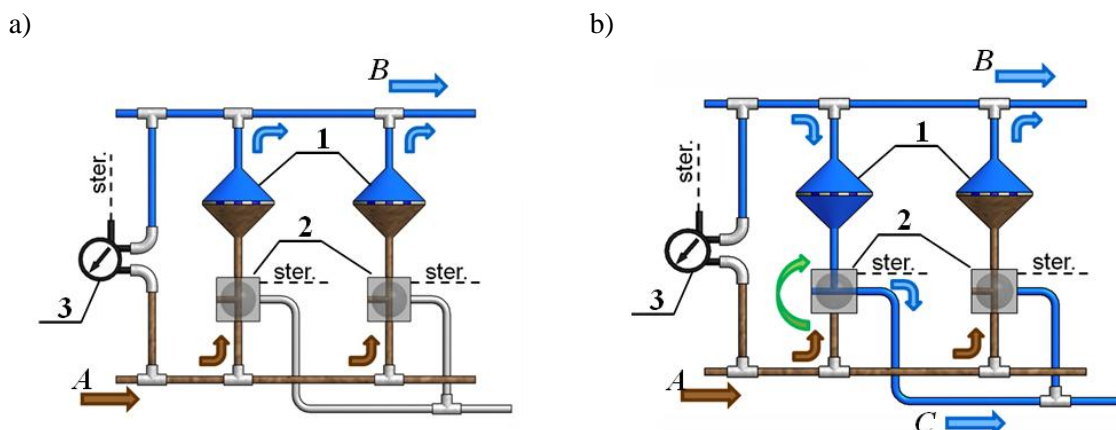


Rys. 1. Filtr samoczyszczący FS-60 produkcji KOPEX Machinery [8]



Rys. 2. Pojedynczy zespół filtracyjny

Zadaniem filtra jest oczyszczanie medium (wody) przepływającego od wewnątrz, na zewnątrz szczelinowych wkładów filtracyjnych. W trakcie przepływu, cząstki zanieczyszczeń odkładają się na wewnętrznej powierzchni wkładu. Wraz z rosnącą liczbą cząstek zanieczyszczeń, wzrasta różnica ciśnienia pomiędzy komorami „wlotową” i „wylotową”. Jeśli różnica ta osiągnie zadaną wartość, rozpoczyna się proces automatycznego oczyszczania wkładów filtracyjnych. Przefiltrowana przez pozostałe wkłady woda wpływa od zewnątrz do czyszczonego wkładu, „zabierając” ze sobą zanieczyszczenia i wypływa króćcem przeznaczonym do odbioru zanieczyszczeń. Jest to tzw. czyszczenie strumieniem wstecznym. Na rysunku 3 przedstawiono uproszczony schemat oczyszczania wkładów filtracyjnych.

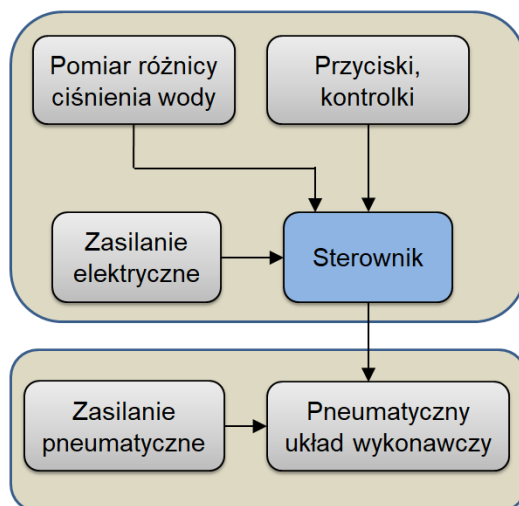


Rys. 3. Uproszczony schemat działania filtra:

- a) filtracja, b) oczyszczanie jednego z wkładów; 1-wkłady filtracyjne, 2-zawory wodne, 3 manometr różnicowy; A-dopływ wody zanieczyszczonej, B-wypływ wody przefiltrowanej, C-wypływ zanieczyszczeń; ster.-sterowanie pneumatyczne

3. Budowa układu sterowania

Układ sterowania umożliwia poprawną pracę zespołu pneumatycznego, a co za tym idzie, właściwą pracę filtra. Sercem układu jest sterownik, który (na podstawie dostarczonych do niego informacji) zawiaduje kolejnością (i krotnością) uruchamianych zespołów filtracyjnych. Uproszczony schemat blokowy filtra pokazano na rysunku 4.



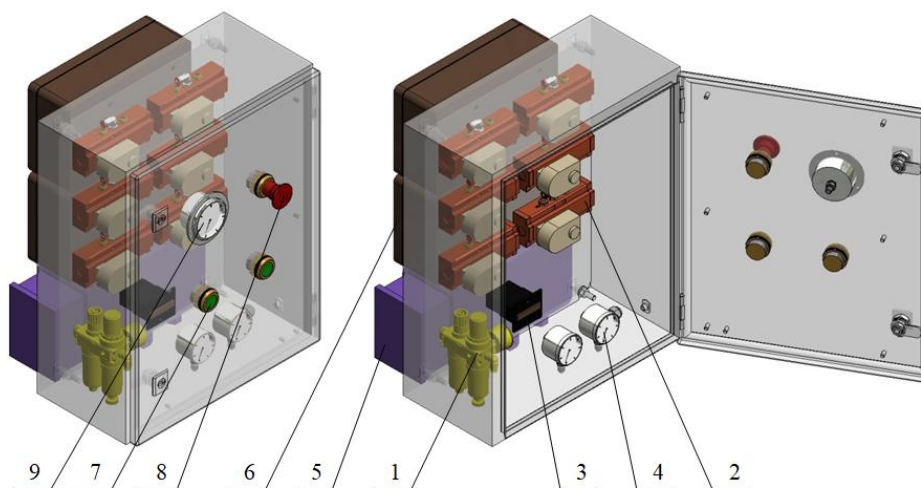
Rys. 4. Uproszczony schemat blokowy filtra

Filtr przewidziano do zastosowania w podziemnych wyrobiskach kopalń węgla. W związku z tym, układ sterowania zbudowano z elementów elektropneumatycznych, dostosowanych do pracy w takich warunkach. W szafie sterowniczej zabudowano następujące podzespoły:

- blok przygotowania sprężonego powietrza (filtr, smarownica, reduktor ciśnienia),
- zawory elektropneumatyczne bezpośrednio sterujące pracą siłowników filtra,
- manometr różnicy ciśnień,
- sterowniki elektryczne,
- zasilacz elektryczny,
- przyciski sterowania (uruchomienie czyszczenia, uruchomienie ochrony wkładów przed zanieczyszczeniami zgrubnymi, wyłącznik awaryjny),
- licznik cykli czyszczenia wkładów,
- manometr ciśnienia wody,
- zawór odcinający.

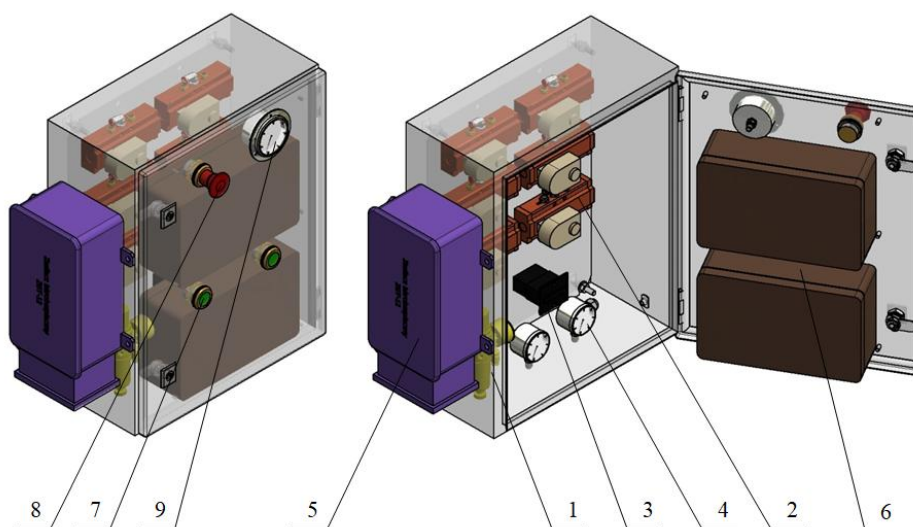
Rozmieszczenie podzespołów w szafie sterowniczej pozwoliło na budowę układu sterowania w dwóch wariantach - ze sterownikami elektrycznymi umieszczonymi wewnątrz i na zewnątrz szafy sterowniczej.

Wariant pierwszy (rys. 5) przewiduje zabudowę sterowników i zasilacza elektrycznego na tylnej ścianie szafy sterowniczej. Zaletą tego rozwiązania jest łatwy dostęp do elementów układu pneumatycznego. Wadą natomiast, ze względu na zabudowę szafy na filtry, utrudnienie dostępu do podzespołów sterowania elektrycznego, co może być utrudnieniem w trakcie realizacji przeglądów okresowych oraz prac serwisowych.



Rys. 5. Wariant I szafy sterowniczej (ze sterownikami zabudowanymi poza szafą sterowniczą) [2]:
 1-blok przygotowania sprężonego powietrza, 2-rozdzielacze elektropneumatyczne,
 3-licznik cykli czyszczenia, 4-manometr różnicy ciśnienia wody, 5-zasilacz elektryczny,
 6-sterowniki elektryczne, 7-przyciski, 8-wyłącznik awaryjny, 9-manometr

W wariantcie drugim (rys. 6) zabudowano sterowniki na wewnętrznej stronie drzwi szafy sterowniczej, natomiast zasilacz elektryczny zabudowano na jej bocznej ścianie co umożliwia prowadzenie czynności serwisowych układu elektrycznego, kosztem minimalnego ograniczenia dostępu do układu pneumatycznego.



Rys. 6. Wariant II szafki sterowniczej (ze sterownikami zabudowanymi w szafie sterowniczej) [2]:
 1-blok przygotowania sprężonego powietrza, 2-rozdzielacze elektropneumatyczne,
 3-licznik cykli czyszczenia, 4-manometr różnicy ciśnienia wody, 5-zasilacz elektryczny,
 6-sterowniki elektryczne, 7-przyciski, 8-wyłącznik awaryjny, 9-manometr

Układ sterowania wyposażono w blok przygotowania sprężonego powietrza, którego komponenty służą do usuwania z czynnika roboczego zanieczyszczeń stałych i ciekłych (filtr), nastawiania i utrzymywania stałego ciśnienia medium (reduktor) oraz nasycania sprężonego powietrza mgłą olejową (smarownica) [16]. W układzie sterowania zastosowano elektropneumatyczne zawory rozdzielające, służące do zmiany kierunku przepływu sprężonego powietrza i do wprowadzenia w ruch siłowników w procesie czyszczenia wkładów filtracyjnych. Kolejnym elementem układu sterowania jest manometr różnicy ciśnienia medium roboczego, służący do jego pomiaru przed i za filtrem. Różnica ciśnienia wody informuje o stopniu zanieczyszczenia wkładów filtracyjnych. Informacja ta przesyłana jest do sterownika, który porównuje ją z wartością zadaną, uruchamiając (w razie

konieczności) proces czyszczenia. W układzie wykorzystano także sterownik elektryczny (moduły wejść-wyjść typu MWW 1 firmy Gabrypol – konstrukcja KOMAG). Wykorzystanie magistrali CAN do programowania pozwala na zmianę oprogramowania, bez konieczności otwierania obudowy modułu. Daje to dużą swobodę i elastyczność przy serwisowaniu modułów.

Na rysunku 7 przedstawiono moduł MWW 1, natomiast w tabeli 1 jego dane techniczne.



Rys. 7. Moduł wejść-wyjść MWW 1 [17]

Dane techniczne modułu MWW 1

Tabela 1

Podstawowe dane techniczne		
Cecha budowy przeciwybuchowej		I M2 Ex ib I Mb
Temperatura otoczenia		Ta = -20°C ÷ +50°C
Stopień ochrony obudowy		IP65
Parametry znamionowe wejściowe/wyjściowe obwodów iskrobezpiecznych		
Znamionowe napięcie zasilania		12V ^{+10%} _{-5%} DC
Maksymalny prąd zasilania		120 mA
Wejścia dwustanowe		Un=12V ^{+10%} _{-5%} DC In=23mA
Wyjścia dwustanowe styk niespolaryzowany		U _{max} =45V, I _{max} =2A
Wejścia analogowe typ:	10V	Un=12V ^{+10%} _{-5%} DC In=±0,1mA
	20mA	Un=12V ^{+10%} _{-5%} DC In=±25mA
	M	Un=3,3V DC In=±3mA
	PT100	Un=2,5V DC In=±3mA
	PT1000	Un=2,5V DC In=±0,3mA
	Interfejs CAN	Un=5V, In=0,3A

4. Układ elektropneumatycznego sterowania

Układ elektropneumatycznego sterowania służy do:

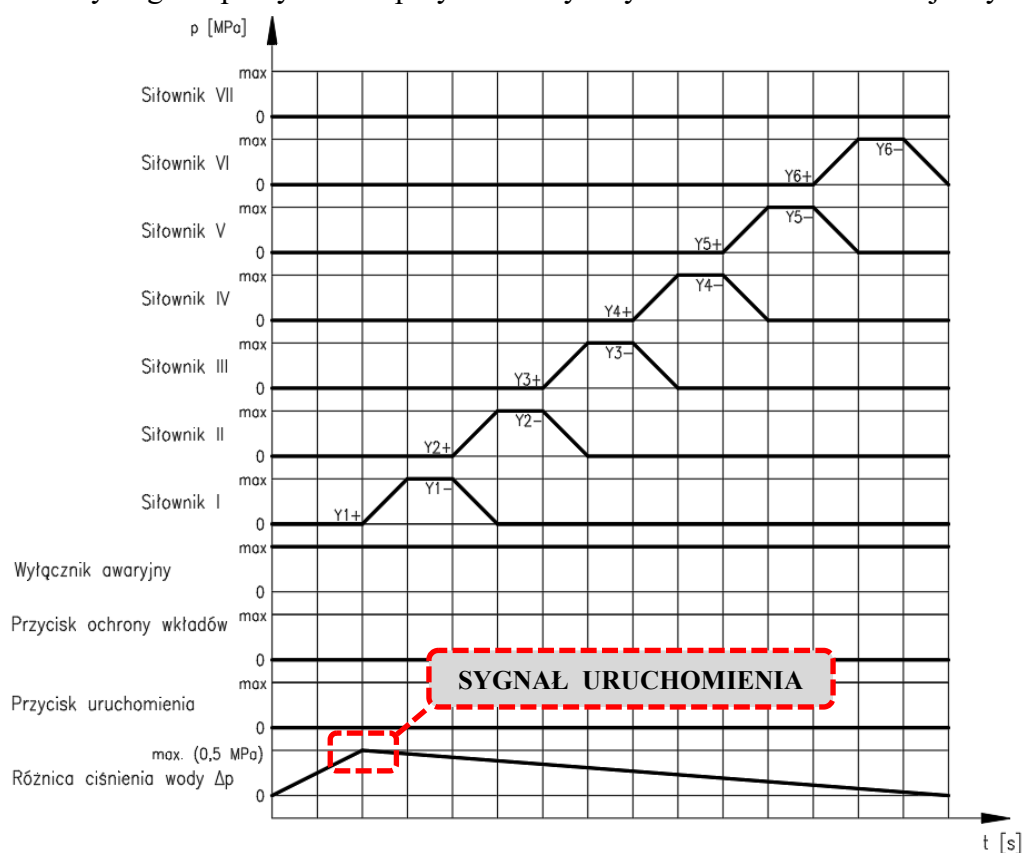
- ciągłego monitorowania różnicy ciśnienia wody na wlocie i wylocie z filtra,
- przesyłania sygnału sterującego do cylindrów zaworów wodnych, po ręcznym uruchomieniu funkcji czyszczenia,

- przesyłania sygnału sterującego do zaworu odpowiedzialnego za ochronę wkładów filtrujących przed zanieczyszczeniami zgrubnymi,
- przesyłania sygnałów sterujących (w określonej sekwencji) do siłowników zaworów wodnych,
- wykonania funkcji czyszczących filtra,
- informowania (poprzez wskazania manometru) personelu obsługującego o stanach awaryjnych (niezrealizowany proces oczyszczania wkładów filtracyjnych),
- kontroli liczby cykli czyszczenia,
- kontroli czasu czyszczenia wkładów filtracyjnych.

Istotą sterowania elektropneumatycznego jest ciągła kontrola różnicy ciśnienia wody na wlocie i wylocie filtra oraz uruchamianie funkcji czyszczenia wkładów filtracyjnych. Każdy cykl czyszczenia filtra jest rejestrowany w sterowniku elektrycznym oraz liczniku pneumatycznym.

4.1. Automatyczne uruchomienie funkcji czyszczenia wkładów filtracyjnych

Po wystąpieniu wartości progowej różnicy ciśnienia wody na wlocie i wylocie z filtra, układ sterowania kieruje sprężone powietrze do siłownika jednego z zaworów, powodując jego otwarcie, a tym samym rozpoczęcie procesu oczyszczania wkładu filtracyjnego strumieniem wstecznym wody. Czas oczyszczania pojedynczego wkładu zapisany jest w sterowniku i może być zmieniany (manualnie przez użytkownika) w zależności od stopnia zanieczyszczenia wkładu. Układ sterujący powtarza cykl płukania dla pozostałych wkładów filtracyjnych, uruchamiając pojedynczo pozostałe siłownik pneumatyczne. Na rysunku 8 pokazano cyklogram pracy układu przy automatycznym uruchomieniu funkcji czyszczenia.

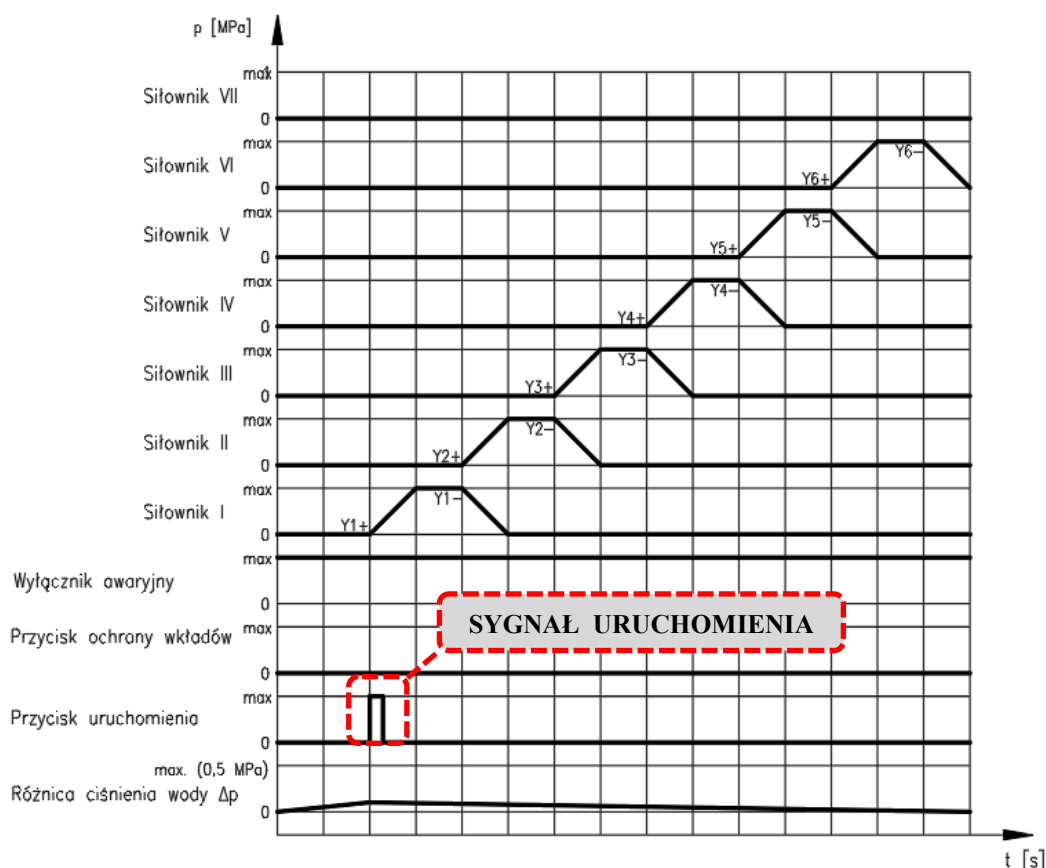


Rys. 8. Cyklogram 1 - Automatyczne uruchomienie funkcji czyszczenia [2]

Jeżeli po zakończeniu cyklu czyszczenia różnica ciśnienia wody między wejściem i wyjściem filtra jest zbyt duża, procedura czyszczenia jest powtarzana.

4.2. Manualne uruchomienie funkcji czyszczenia wkładów filtracyjnych

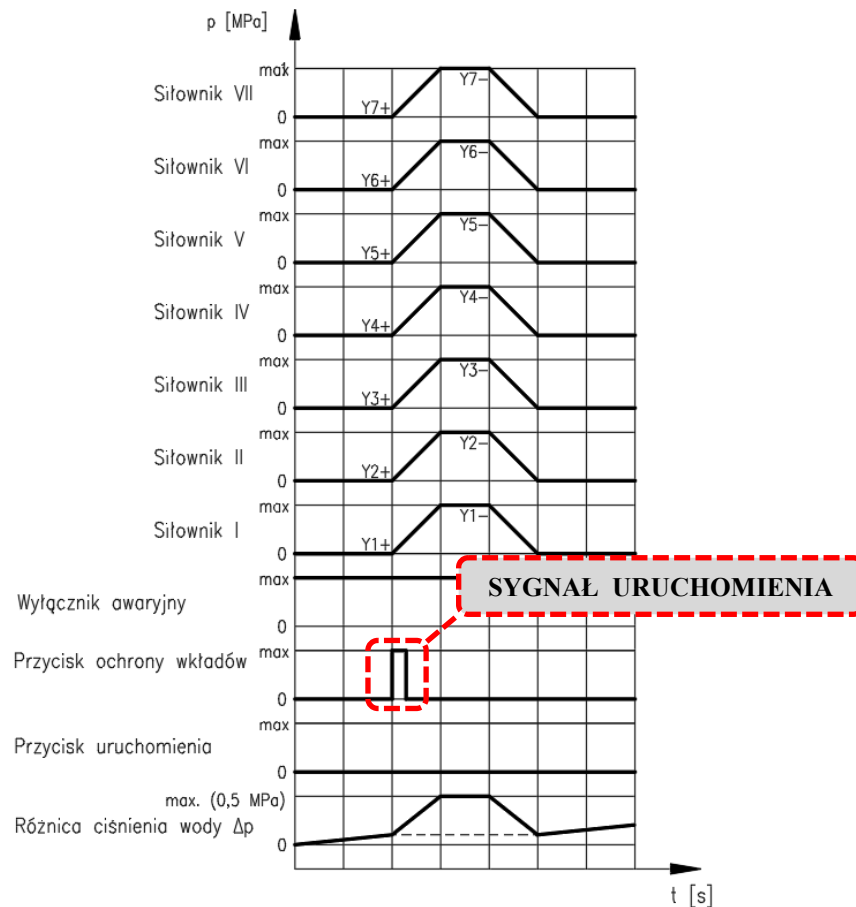
Układ sterowania (poprzez przycisk uruchomienia umieszczony w drzwiach szafy sterowniczej) umożliwia ręczne inicjowanie funkcji czyszczenia. Naciśnięcie przycisku powoduje uruchomienie takiego samego cyklu czyszczenia, jak w trybie automatycznym. Na rysunku 9 pokazano cyklogram pracy układu przy ręcznym uruchomieniu funkcji czyszczenia.



Rys. 9. Cyklogram 2 - Ręczne uruchomienie funkcji czyszczenia [2]

4.3. Manualne uruchomienie funkcji ochrony wkładów filtracyjnych przed zanieczyszczeniami zgrubnymi

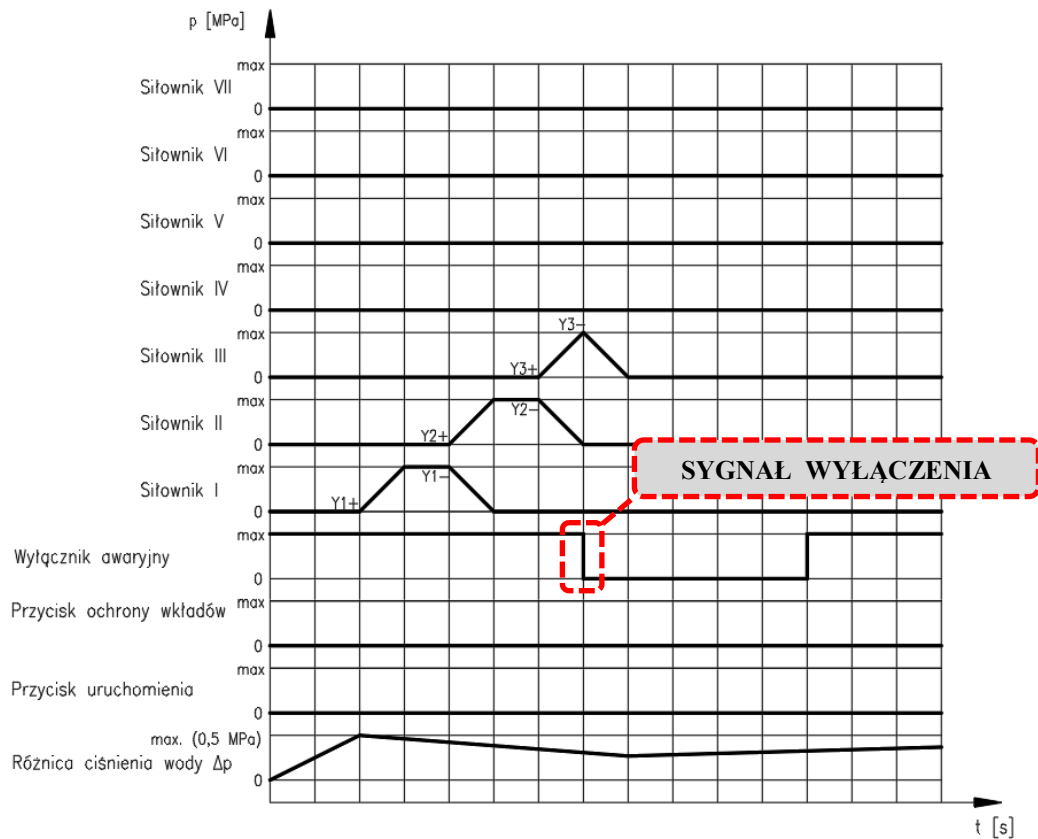
Funkcja ochrony wkładów filtracyjnych przed grubymi frakcjami zanieczyszczeń ma za zadanie uruchomienie wszystkich siłowników pneumatycznych na określony czas i jednocześnie otwarcie zaworów wody (odprowadzenie zanieczyszczeń). Uruchomienie funkcji ochrony filtra następuje po wciśnięciu odpowiedniego przycisku w panelu sterującym. Zabieg ten powinno się wykonywać przed pierwszym uruchomieniem filtra oraz po każdym, dłuższym jego przestoju. Na rysunku 10 pokazano cyklogram pracy układu przy manualnym uruchomieniu funkcji ochrony wkładów.



Rys. 10. Cyklogram 3 - Ręczne uruchomienie funkcji ochrony wkładów filtracyjnych [2]

4.4. Wyłączenie awaryjne

Układ sterowania wyposażono w wyłącznik bezpieczeństwa, który ma za zadanie ochronę filtra w przypadku jego nieprawidłowego działania. Po wciśnięciu przycisku bezpieczeństwa na panelu sterującym, wstrzymywana jest praca układu sterującego. Następuje powrót wszystkich ustawień układu sterowania do wartości początkowych. Równoległe z uruchomieniem wyłącznika bezpieczeństwa, należy zamknąć dopływ wody do filtra, co spowoduje odcięcie wody po stronie urządzeń odbiorczych. Na rysunku 11 pokazano cyklogram pracy układu po wyłączeniu awaryjnym.



Rys. 11. Cyklogram 4 - Wyłączenie awaryjne [2]

5. Podsumowanie

Górnictwo, a w szczególności podziemne górnictwo węgla kamiennego, używa sprężonego powietrza do napędu maszyn i sprzętu oraz narzędzi. Jest ono nie tylko wygodne w użyciu, ale poprawia również bezpieczeństwo pracy przy podziemnej eksploatacji [18]. Wykorzystywane jest ono zarówno do zasilania niewielkich urządzeń „małej mechanizacji”, jak również dużych, związanych z poprawną pracą, maszyn wyciągowych [3, 4].

Jednym z urządzeń wykorzystujących zasilanie pneumatyczne jest filtr samoczyszczący FS-60. Jego układ sterujący (elektropneumatyczny), będący alternatywnym dla już istniejącego sterowania pneumatycznego, umożliwia realizację szeregu funkcji, takich jak: ciągłe monitorowanie różnicy ciśnienia cieczy na wlocie i wylocie z filtra, przesyłanie sygnałów sterujących do siłowników zaworów wodnych, uruchomienie funkcji czyszczących filtra, kontrolę czasu czyszczenia wkładów filtracyjnych, informowanie o stanach awaryjnych czy kontrolę liczby cykli czyszczenia. Pozwala to na pełną automatyzację pracy i lepszą diagnostykę filtra.

Warunkiem praktycznego zastosowania układu elektropneumatycznego sterowania filtrem jest konieczność zapewnienia, poza zasilaniem pneumatycznym, zasilania elektrycznego. Należy przy tym pamiętać, że urządzenia elektryczne pracujące w węglowym górnictwie podziemnym, muszą spełniać wymagania dyrektywy ATEX.

Zaletą układu są możliwości sterownika elektrycznego, pozwalającego na przejęcie większości funkcji logicznych układu pneumatycznego, a tym samym zmniejszenie liczby

węzłów połączeń pneumatycznych i prawdopodobieństwa wystąpienia nieszczelności w układzie.

Literatura

- [1] Hućcio T., Kulesza Z., Kuźmierowski T: Napędy i sterowanie pneumatyczne. Politechnika Białostocka 2013.
- [2] Jasiulek T. i inni: Koncepcja elektropneumatycznego układu sterowania pracą filtra FS-60. ITG KOMAG Gliwice 2015 (materiały niepublikowane).
- [3] Kowal L., Turewicz K., Helmrich P., Nyga K.: Nowe rozwiązania techniczne Instytutu Techniki Górniczej KOMAG wdrażane w maszynach wyciągowych. Masz. Gór. 2010 nr 3-4.
- [4] Miłek R., Długaj J., Ryndak P.: Elektropneumatyczny zespół sterowania hamulca EPZSH przeznaczony do maszyn wyciągowych wyposażonych w pneumatyczno-obciążnikowe nie sumujące napędy hamulca z dźwigniowym układem przeniesień siłowych. Materiały na konferencję: Transport Szybowy 2007, IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, t. 1, Szczyrk, 17-19.09.2007.
- [5] Nieśpiałowski K. i inni: Innowacyjny filtr samoczyszczący do instalacji wodnych. Maszyny Górnicze 2011 nr 3 s. 74-80.
- [6] Nieśpiałowski K. i inni: Filtr samoczyszczący do wody i cieczy nisko lepkich. W: XXI Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna CYLINDER 2011, Monografia ITG KOMAG, Badanie, konstrukcja, wytwarzanie i eksploatacja układów hydraulicznych, s. 65-76.
- [7] Nieśpiałowski K. i inni: Filtr samoczyszczący z funkcją uzdatniania wody. W: 12. Konferencja Naukowo-Techniczna KOMTECH 2011, Monografia ITG KOMAG, Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo-efektywność-niezawodność, s. 85-97.
- [8] Nieśpiałowski K. i inni: Badanie filtra samoczyszczącego w warunkach praktycznego stosowania. W: Międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna, Wyd. Ośrodek Doskonalenia Kadr SIMP we Wrocławiu, Napędy i sterowania hydrauliczne i pneumatyczne 2012. Stan, potrzeby, oczekiwania i możliwości, s. 128-137.
- [9] Olszewski M.: Tendencje rozwojowe w dziedzinie elementów, systemów i sterowania napędów pneumatycznych. Materiały na II Międzynarodowe Targi "Hydraulika, Pneumatyka, Sterowanie HPS '98". Seminarium "Napędy i sterowanie hydrauliczne i pneumatyczne. Rozwój i zastosowanie". Katowice, 23 września 1998 r. Mechaniz. Automatyk. Górn. 1998 nr 8.
- [10] Pawełko P.: Napęd i sterowanie pneumatyczne. Podstawy. Ćwiczenia laboratoryjne. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny. Szczecin 2013 (http://piopawelko.zut.edu.pl/fileadmin/NEHIP/skrypt_podstawy.pdf) (26.08.2019).
- [11] Pawełko P.: Napęd i sterowanie pneumatyczne. Podstawy. Ćwiczenia laboratoryjne. Elementy elektropneumatycznych układów sterowania. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny. Szczecin 2019 (http://piopawelko.zut.edu.pl/fileadmin/SNHIP/lab11_NHIP.pdf) (26.08.2019).
- [12] Puzyno A.: Filtr samoczyszczący produktem roku 2013. Self-cleaning filter is the product of the year 2013. Art Min. 2013 nr 8-9.

- [13] Sikora W., Sobczyk J.: Przegląd elementów elektrohydraulicznych i elektropneumatycznych produkowanych przez Centrum EMAG. Mechaniz. Automatyż. Gór. 1996 nr 10.
- [14] Sobczyk J., Potempa J., Haber Z., Sikora W.: Rozwój sterowników i rozdzielaczy iskrobezpiecznych dla hydrauliki i pneumatyki górniczej w Centrum EMAG. Mech. Autom. Gór. 2001 nr 8.
- [15] Szenajch W.: Napęd i sterowanie pneumatyczne, WNT, Warszawa 1992
- [16] www.boschrexroth.com/pl/pl/ (16.05.2019).
- [17] www.gabrypol.com (16.05.2019).
- [18] www.pneumatyka.com/archiwum/1998/Pneumatyka_98_04.pdf (27.08.2019).

dr inż. Krzysztof Nieśpiałowski
kniespialowski@komag.eu

Instytut Techniki Górniczej KOMAG
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice

Czy wiesz, że

... narzędzia do skał i materiały, z których je zrobiono istotnie wpływają na produktywność wiertnicy oraz jej pneumatykę, hydraulikę, funkcjonowanie silnika i innych podzespołów. Zasadnicze znaczenie ma to, że firma Sandvik kontroluje cały proces produkcyjny – od sproszkowanego węgla, aż po gotowe koronki. Sandvik wprowadza właśnie na rynek nowe narzędzia do drążenia chodników i prac przygotowawczych w kopalniach. Do najnowszych narzędzi zaliczyć należy koronkę Speedy z górnym młotkiem (opatentowana podniesiona przednia geometria), wyposażoną w tzw. w pełni balistyczne węgliki. Nowością jest również system narzędziowy Alpha 360, będący odpowiedzią na coraz częstsze zapotrzebowanie na większe i głębsze otwory. Nowe rodzaje węgla, określane łącznie jako PowerCarbide, to gatunki gradientowe GC80 oraz samohartujące SH70. Nowoczesne koronki wiertnicze i systemy narzędziowe oraz nowe gatunki węgla zwiększają produktywność operacji dzięki większym prędkościom wiertła i bardziej precyzyjnemu wierceniu otworów. Oznacza to niższe koszty i wzrost bezpieczeństwa robót górniczych.

Solid Ground 2019 nr 1 s.16-19