

## STEROWANIE URZĄDZEŃ TRANSPORTU PNEUMATYCZNEGO SYSTEMU POLKO

CHMIELORZ Wojciech, Kooperacja POLKO Sp. z o.o., Mikołów  
DOMBEK Adam, Kooperacja POLKO Sp. z o.o., Mikołów

Referat prezentuje wykorzystanie transportu pneumatycznego systemu POLKO z możliwością pełnej automatyzacji procesów i współpracy z istniejącymi układami sterowania. Opisano sposoby sygnalizowania iysterowania poszczególnych etapów algorytmu pracy urządzeń. Zwrócono uwagę na wszechstronność zastosowania w pełni zautomatyzowanych podzespołów służących do przemieszczania materiałów sypkich z możliwością ich dozowania i mieszania. Znajdują się tutaj również opisy rozwiązań systemów sterowania dla niektórych aplikacji transportu pneumatycznego systemu POLKO.

### 1. WPROWADZENIE

Podajnik komorowy transportu pneumatycznego pozwala na bezpyłowe przemieszczanie materiałów sypkich liniami o długości nawet kilku kilometrów z dużą koncentracją, czyli z małym zużyciem sprężonego powietrza - głównego czynnika energetycznego procesu.

Unikalne rozwiązanie dolnego rozładunku podajnika komorowego w postaci komory mieszania systemu POLKO oraz regulacja opróżnienia poprzez naciśnięcie w objętości podajnika eliminuje konieczność aerowania transportowanego materiału. Ta cecha umożliwia przemieszczanie szerokiego spektrum materiałów sypkich z uwzględnieniem zachowania niezmienności ich struktury. Wszechstronność zastosowania podajnika komorowego implikuje jednak konieczność wewnątrzsystemowej kontroli procesu, co jest realizowane przez zastosowanie przemysłowych elementów sterowania.

W skład systemu wchodzi również cały zestaw urządzeń takich jak: rozdzielacze dwudrogowe, zawory przeponowe, rynnny aeracyjne, fluidyzatory etc., które umożliwiają budowę kompletnych instalacji transportu pneumatycznego. Zapewnienie poprawnego współdziałania poszczególnych elementów takiej instalacji to drugi czynnik wymuszający

automatyzację procesu.

Jak widać, automatyzacja transportu pneumatycznego ma na celu realizację bezobsługowej pracy poszczególnych urządzeń instalacji oraz kontrolę przemieszczania materiału we współdziałaniu z szerszym procesem technologicznym. To ostatnie sprawia, że układ automatyki systemu POLKO docelowo posiada zarówno cechy umożliwiające komunikację z nadrzędnym systemem sterowania dla potrzeb synchronizacji i wizualizacji procesu, jak też cechy układu otwartego, czyli prostego w rozbudowie i zgodnego sprzętowo.

## **2. AUTOMATYZACJA TRANSPORTU PNEUMATYCZNEGO SYSTEMU POLKO**

Ogólnie algorytm działania podajnika komorowego można podzielić na dwie podstawowe fazy: napełnienie i transport materiału. Pozostałe zdarzenia, takie jak hermetyzacja układu, przedmuch rurociągu transportowego, odpowietrzenie podajnika są konsekwencją dwóch faz podstawowych. Zatem kluczowe znaczenie dla poprawności działania urządzenia ma właściwa sygnalizacja poziomu maksimum i minimum stopnia napełnienia podajnika.

Dawniej najczęściej stosowano do tego celu izotopowe sygnalizatory poziomu. Była to metoda zadowalająco dokładna i powtarzalna. W celu detekcji poziomu minimum stosowano również manometr kontaktowy zamontowany na rurociągu transportowym niedaleko połączenia z komorą mieszania podajnika - spadek ciśnienia poniżej pewnego progu podczas transportu materiału oznaczał opróżnienie podajnika.

Obecnie w podajniku komorowym systemu POLKO wykorzystuje się w tym celu następujące elementy:

- sondy pojemnościowe lub inne kontaktowe,
- przetworniki ciśnienia,
- układy wagowe.

Sondy pojemnościowe funkcjonalnie wprost zastępują sygnalizatory izotopowe. W odróżnieniu jednak od nich zasada działania sond pojemnościowych wymaga bezpośredniego kontaktu z detektowanym materiałem. To implikuje istotne ograniczenia w ich wykorzystaniu. Przede wszystkim z uwagi na dynamikę procesu, szczególnie podczas transportu, może pojawić się fałszywa sygnalizacja stanu sondy. Ponadto sondy takie narażone są na fizyczne uszkodzenie, szczególnie przy podwyższonej temperaturze transportowanego materiału. Dlatego też w podajnikach komorowych sondy pojemnościowe lub inne kontaktowe stosuje się sporadycznie i to tylko dla sygnalizacji końca napełniania (maksimum). Do sygnalizacji minimum używa się wtedy przetwornika ciśnienia z wyjściem binarnym (regulowany próg przełączenia styku wyjściowego), który jest montowany na początku rurociągu transportowego. Tak jak w przypadku manometru kontaktowego wykorzystuje się tutaj zasadę spadku ciśnienia przy opróżnieniu podajnika.

W tym zakresie główne zastosowanie w systemie POLKO znalazły układy wagowe. Posiadają one, podobnie jak sygnalizatory izotopowe, zaletę metody bezkontaktowej, a więc odpornej na własności materiałów transportowanych (np. temperatura) oraz dynamikę rozkładu gęstości wewnątrz podajnika.

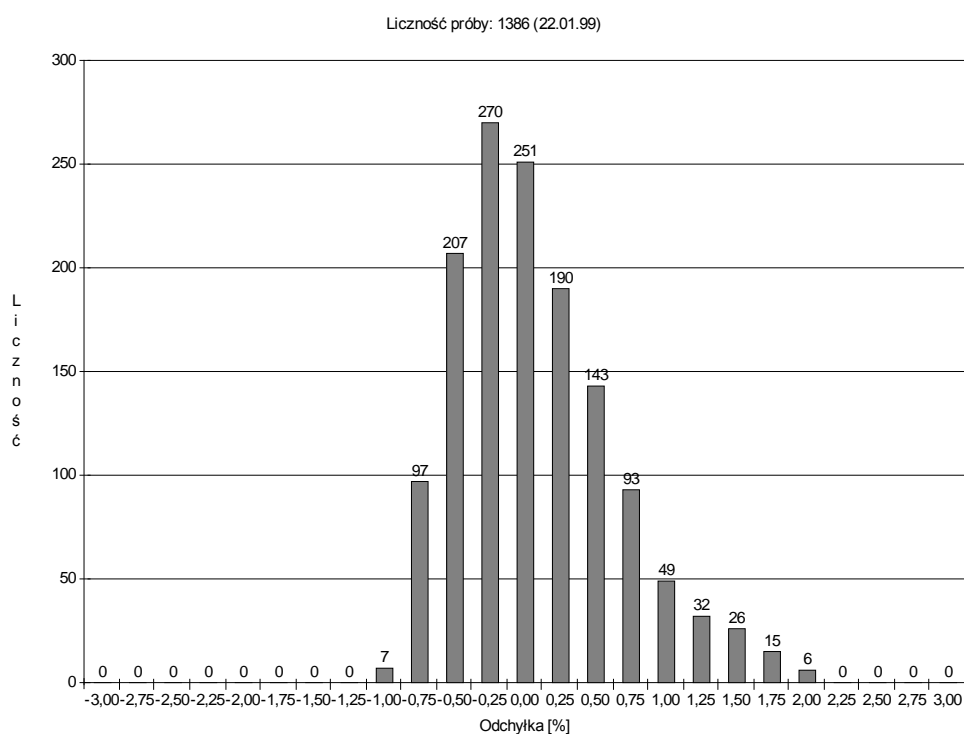
Dla potrzeb sygnalizacji poziomu napełnienia podajnika dokładność układu nie musi przewyższać kilku procent zakresu pomiarowego. Umożliwia to wykorzystanie dźwigniowego mechanizmu zawieszenia z osiowym punktem podparcia i jednym punktem przetwarzania w postaci czujnika tensometrycznego. Błąd metody wynikający z wrażliwości układu na położenia środka ciężkości nie przekracza owych kilku procent zakresu pomiarowego, gdyż rozłożenie masy materiału w podajniku jest równomierne w tym zakresie. Stosowanie tej metody jest utrudnione z uwagi na konieczność kompensowania naprężeń układu poprzez elastyczne połączenia z lejem zasypowym, rurociągiem transportowym oraz przewodami zasilania i odpowietrzenia. Wynikające z tego tytułu błędy histerezy oraz niestabilności zera, dotyczące głównie powtarzalności pomiaru poziomu minimum, są niwelowane przez jednoczesny pomiar ciśnienia w podajniku (wg wspomnianej zasady spadku ciśnienia przy opróżnieniu).

Takie rozwiązanie w połączeniu z zaletami konstrukcyjnymi podajnika komorowego stanowi istotę wszechstronności jego zastosowania. Ważenie umożliwia bowiem ciągłą kontrolę stanu napełnienia podajnika w całym zakresie cyklu transportowego. Tak więc przy równoczesnej analizie wartości ciśnienia w podajniku system sterowania może reagować na tak niekorzystne zjawiska jak zawieszanie materiału, „korkowanie” w rurociągu transportowym, zmiany oporu linii etc.

Elementami wykonawczymi kontroli procesu w tym zakresie są dysze antyzawieszeniowe, dosilacze pneumatyczne oraz regulatory proporcjonalne. Pozostałe elementy to napędy pneumatyczne elementów ruchowych podajnika (np. posuw komory mieszania), sterowane poprzez zawory elektropneumatyczne z kontrolą stanu w postaci czujników indukcyjnych. Istnieje rozwiązanie opcjonalne z napędami elektrycznymi.

Wszystkie sygnały pomiarowe lub regulacyjne są realizowane w standardzie pętli prądowej 4..20mA, natomiast sygnały binarne posiadają poziom aktywny 24VDC lub 220VAC w zależności od wymagań. Taka systematyka pozwala na automatyzację transportu pneumatycznego w oparciu o dowolny sterownik przemysłowy wskazany przez użytkownika. Dotychczas zrealizowano aplikacje w oparciu o sterowniki FESTO, SIEMENS, MODICON, OMRON, GE FANUC, ALLEN-BRADLEY. Komunikacja z systemem nadrzędnym odbywa się zazwyczaj przez uzgodniony z użytkownikiem zbiór binarnych sygnałów wejściowych i wyjściowych. Jednakże z uwagi na możliwość zachowania jednorodności sprzętowej, może być ona zrealizowana w oparciu o właściwy dla danego systemu protokół komunikacyjny za pomocą sprzęgu RS485.

Zagospodarowanie produktów poreakcyjnych procesu odsiarczania spalin pociąga za sobą niejednokrotnie konieczność wykorzystania technologii współdziałających z tym procesem. Część z nich wymaga wprowadzenia ściśle określonej porcji materiału do urządzeń, w których przebiega reakcja. Transport pneumatyczny systemu POLKO został w tym celu poszerzony o układy dozujące masowo za pomocą sprężonego powietrza.

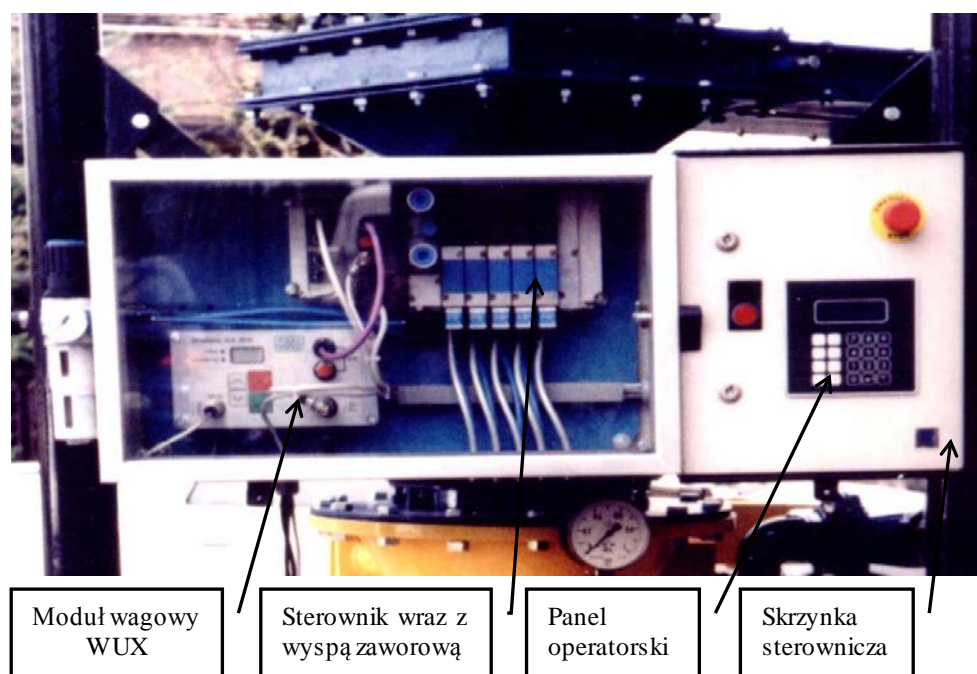


Propozycja jest możliwa dzięki zastosowaniu kompensatorów nowej generacji, które pozwalają na wykonanie dokładnych układów wagowych. Dokładne układy wagowe posiadają, podobnie jak wagi sygnalizacyjne, konstrukcję podpartą, jednakże przetworniki tensometryczne zamontowane są we wszystkich punktach podparcia (z reguły trzech). Zastosowanie po stronie elektrycznej dodatkowych filtrów zakłóceń pozwala na rejestrację wyników z dokładnością co najmniej 0.1% zakresu pomiarowego. To stanowi podstawę do realizacji dokładnych układów dozowania, które jako proces dynamiczny, są limitowane czasem. Czas dozowania oraz zakres dozowanej masy materiału są głównymi czynnikami warunkującymi dokładność tego procesu. Dotychczasowe aplikacje tego rodzaju z wykorzystaniem urządzeń omawianego systemu zostały z powodzeniem zrealizowane w przemyśle odlewniczym i spożywczym. Dla przykładu zamieszczony histogram prezentuje rozkład dokładności dozowania cukru-pudru w pracującej wieloskładnikowej instalacji wytwarzania mieszanek spożywczych w całości opartej o technologię transportu pneumatycznego systemu POLKO. Zakres masowy porcji cukru mieści się w granicach od 36kg do 43kg przy maksymalnym czasie dozowania 20s.

Z histogramu wynika, że układ gwarantuje dokładność na poziomie 2% dozowanej masy materiału. Przy założeniu przedziału ufności 0.94 dokładność dozowania wzrasta do 1%.

### 3. DEDYKOWANE ELEMENTY AUTOMATYKI SYSTEMU POLKO

Realizacja sterowania dozujących układów transportu pneumatycznego wymaga zastosowania elektronicznych modułów wagowych współpracujących z powszechnie stosowanymi systemami automatyki. Na bazie kilkuletnich doświadczeń powstał moduł wagowy systemu POLKO o nazwie WUX. Jego zadaniem jest wykonywanie algorytmu działania układu dozowania oraz przetwarzanie wyniku pomiaru masy na postać cyfrową. WUX ma możliwość bezpośredniej współpracy z nadrzędnym systemem sterowania.



Fot. 1. Lokalny układ sterowania podajnika komorowego systemu POLKO.

Moduł wagowy WUX posiada cechy dedykowanego sterownika lokalnego procesu, dzięki czemu nadrzędny sterownik systemu inicjuje tylko proces dozowania przez wysłanie odpowiedniego rozkazu z zadaną wartością masy. Ogólnie mówiąc, WUX realizuje dwustopniowy proces dozowania (zgrubny i dokładny) w trybie różnicowym (narastanie lub ubywanie masy dozowanej) z możliwością uprzedniego autotarowania.

Sercem modułu jest 24-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy typu  $\Sigma\Delta$  z *chopper*'owanym wzmacniaczem wejściowym oraz szybki mikrokontroler typu RISC. Parametryzacja modułu nie wymaga stosowania dodatkowych urządzeń programujących.

W niezależnych, stanowiskowych układach dozowania znalazł zastosowanie uniwersalny system wagowy USW-04. Cechą wyróżniającą go od modułu wagowego WUX jest ograniczona możliwość współdziałania z innymi systemami. Posiada za to kompletną konsolę operatora z archiwizacją wyników w postaci wydruku lub zapisu do pamięci.

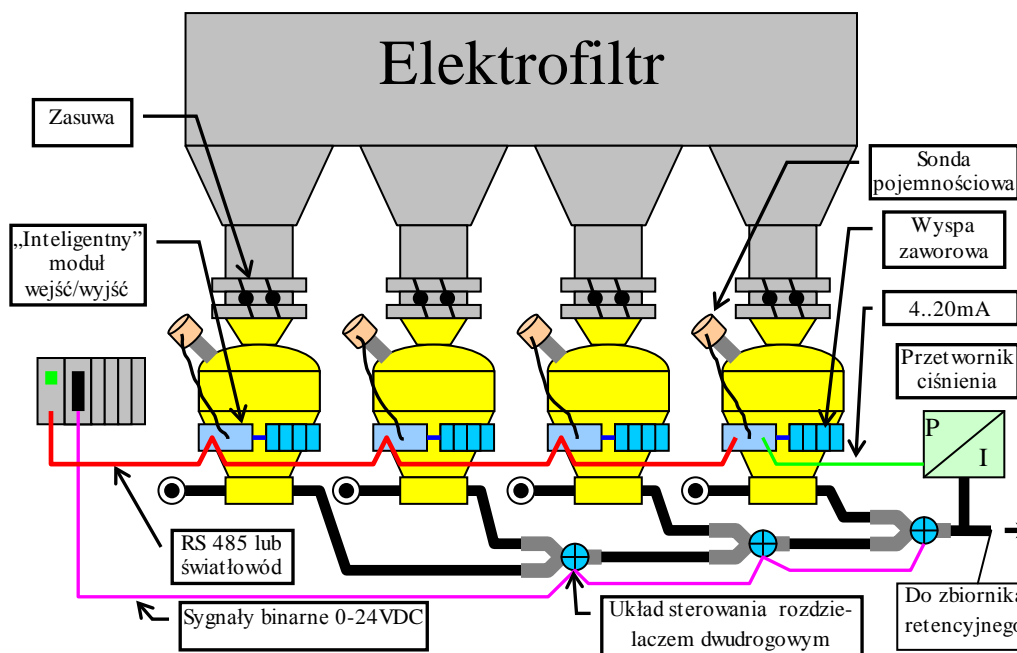
Ważnym uzupełnieniem oferty są stabilizowane zasilacze nisko-szumowe, układy barier galwanicznych sygnałów binarnych oraz światłowodowe obwody sprzęgające do RS485.

Wszystkie wymienione układy mają potwierdzoną niezawodność, zbudowane są w oparciu o elementy spełniające standardy przemysłowe i profesjonalnie montowane za pomocą specjalistycznych narzędzi.

## 4. WYBRANE APLIKACJE TRANSPORTU PNEUMATYCZNEGO SYSTEMU POLKO

### 4.1. Transport popiołów spod elektrofiltru

System sterowania dla tej aplikacji oparty jest na sterowniku swobodnie programowalnym z wykorzystaniem „inteligentnych” modułów wejść/wyjść. Całość połączona została w sieć typu *master-slave* w oparciu o standard elektryczny RS485 lub światłowód. Konfiguracja systemu wynika z prostego algorytmu sterowania oraz rozproszenia wejść i wyjść układu.



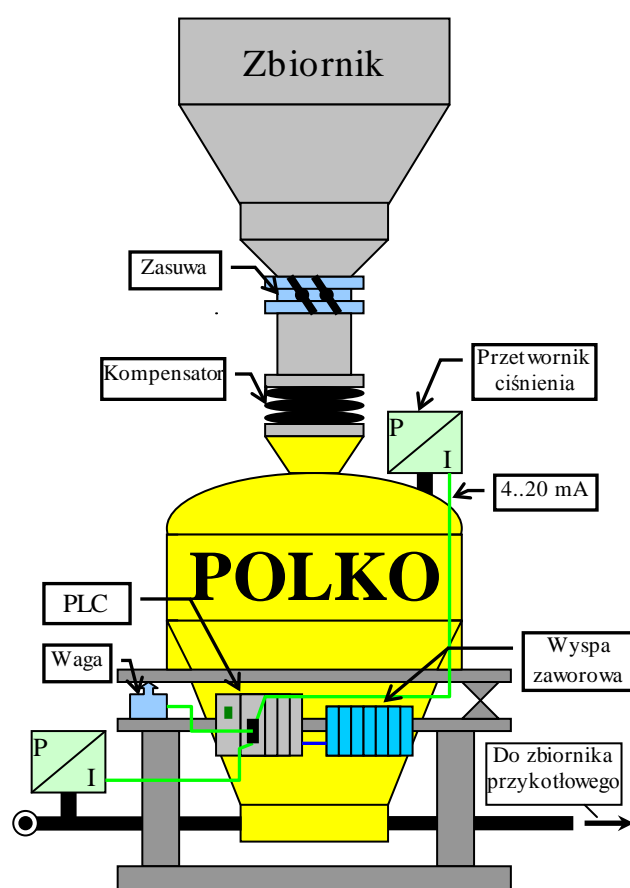
Rys.1. Transport popiołów spod elektrofiltru.

Jedną z cech transportowanego popiołu jest brak tendencji do tworzenia nawisów oraz zawieszania się w rurociągu. Nie ma zatem potrzeby stosowania układu wagowego do monitorowania stopnia napełnienia podajnika komorowego. Fakt ten stanowi również

w głównej mierze o prostocie algorytmu sterowania. Do detekcji napełnienia podajników popiołem wykorzystywane są sondy pojemnościowe, natomiast opróżnienie podajników stwierdzone jest na podstawie spadku ciśnienia w rurociągu.

#### 4.2. Transport sorbentu do zbiornika przykotłowego

Transport sorbentu, który jest materiałem mającym tendencję do zawieszania się oraz „korkowania”, jest realizowany w oparciu o bardziej rozbudowany algorytm sterowania w porównaniu z transportem popiołu. Zawieszenie materiału w podajniku lub zatkanie rurociągu stwierdzone jest na podstawie wskazań układu wagowego oraz przetwornika ciśnienia mierzącego ciśnienie powietrza w podajniku. Układ automatyki wykonuje wtedy sekwencję załączania elementów wykonawczych wspomagających opróżnianie. Po usunięciu zawieszenia system realizuje normalny algorytm pracy podajnika.



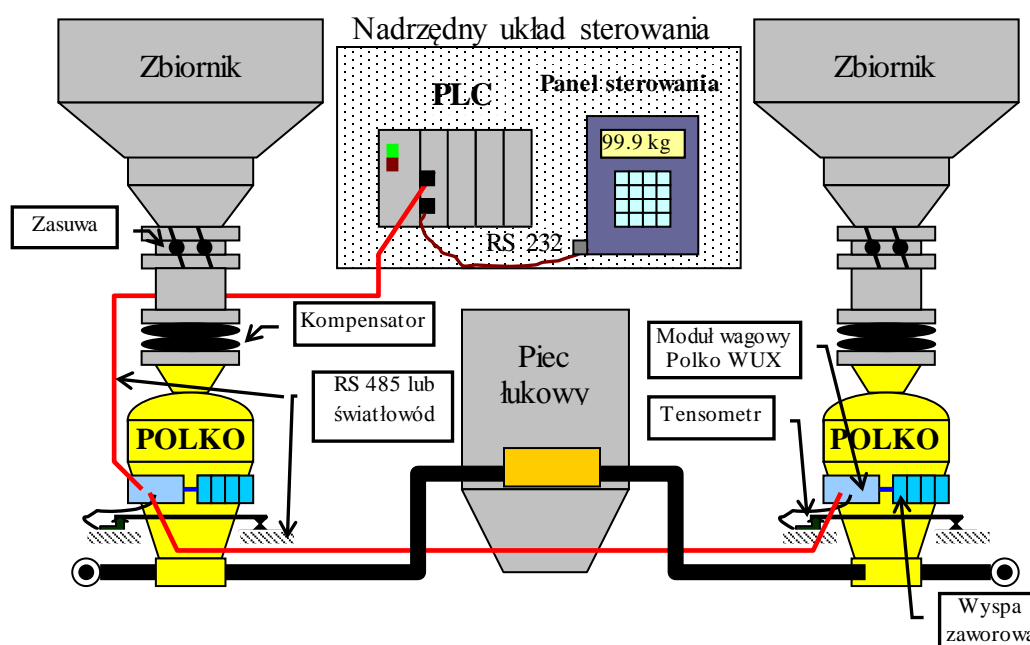
Rys.2. Transport sorbentu do zbiornika przykotłowego.

Ze względu na większą ilość wejść i wyjść binarnych oraz wejść analogowych, jak również występujące w tego typu rozwiązaniach mniejsze rozproszenie systemu, każdy

podajnik wyposażony jest we własny sterownik. Mogą one współpracować z systemem nadrzędnym poprzez transmisję szeregową lub sygnały równoległe.

### 4.3. Dozowanie materiałów do pieca łukowego

W aplikacji dozowana jest ściśle określona ilość materiału do pieca łukowego. Zespół przetworników tensometrycznych oraz elektroniczny moduł wagowy WUX to główne elementy układu wagowego. Nadrzędny sterownik swobodnie programowalny wyposażony jest w panel operatorski; komunikacja szeregową z modułem WUX dokonuje się poprzez sprzęg RS485 w trybie *master-slave*.



Rys.3. Dozowanie materiałów do pieca łukowego.

## 5. PODSUMOWANIE

Automatyzacja transportu pneumatycznego systemu POLKO dla potrzeb różnych gałęzi przemysłu spełnia przede wszystkim wysokie kryteria niezawodności, potwierdzone działającymi aplikacjami. Modułowa konstrukcja układów sterowania, brak ograniczeń w doborze elementów zapewniają dostosowanie do każdego istniejącego rozległego systemu sterowania. Unikalne rozwiązania zorientowane są na zapewnienie otwartości systemu i uniwersalność zastosowań, dzięki czemu są łatwe w rozbudowie oraz przystosowaniu do istniejących układów. Dodatkowo wyspecjalizowana kadra techniczna zapewnia szkolenie pracowników obsługi oraz sprawny serwis dostarczonych urządzeń.

Wszystkie elementy automatyki w systemie POLKO posiadają szczelne i trwałe obudowy, są odporne na działanie obcych pól elektromagnetycznych, posiadają odpowiednie certyfikaty



zgodności z obowiązującymi normami i nie sprawiają trudności w obsłudze.

Niektóre z prezentowanych rozwiązań mają charakter nowatorski. Potwierdza to ciągły rozwój w zakresie automatyzacji urządzeń systemu POLKO, aby spełnić wszelkie wymagania użytkowników.

## LITERATURA

- [1] Kaczorek T.: Teoria układów regulacji automatycznej. WNT, Warszawa 1974.
- [2] Gessing R.: Teoria sterowania. Skrypt uczelniany Politechniki Śląskiej nr 1661, Gliwice 1991.
- [3] Piątkiewicz Z., Homa D.: Teoria transportu pneumatycznego w rurociągach oraz opis urządzeń transportowych. *Część II*. Ossolineum, Katowice 1987
- [4] Mielczarek W.: Szeregowe interfejsy cyfrowe. Helion, Gliwice 1993.
- [5] Projekt automatyki transportu pneumatycznego popiołu spod filtrów workowych w warunkach Elektrowni „Chorzów”. Praca niepublikowana Kooperacji POLKO, Mikołów 1994.
- [6] Projekt układu sterowania podajnika komorowego do transportu sorbentu w warunkach Elektrowni „Rybnik”. Praca niepublikowana Kooperacji POLKO, Mikołów 1998.
- [7] Projekt automatyki instalacji wytwarzania mieszanek spożywczych w warunkach FPUH „Mokate”. Praca niepublikowana Kooperacji POLKO, Mikołów 1997.
- [8] Projekt układu sterowania urządzenia do wdmuchiwania nawęglacza do żeliwiaka dla AIR PRODUCTS. Praca niepublikowana Kooperacji POLKO, Mikołów 1999.