

**BADANIA PNEUMATYCZNEGO UKŁADU DOZUJĄCEGO  
MATERIAŁY SYPKIE DO ŻELIWIAKA**

SZLUMCZYK Henryk, PIĄTKIEWICZ Zbigniew, JANERKA Krzysztof, JEZIERSKI Jan  
Politechnika Śląska Katedra Odlewnictwa,  
44-100 Gliwice, ul. Towarowa 7, POLAND

**STRESZCZENIE.**

Publikacja zawiera opis sposobu przeprowadzania prób dozowania składników sypkich z przeznaczeniem do intensyfikacji procesu żeliwiakowego, wyniki badań i obliczeń oraz ich analizę, zgodnie z przedstawionym schematem stanowiska badawczego.

Analiza wyników badań potwierdziła wysoką jednorodność przebiegu procesu w zakresie wymaganych wartości natężenia przepływu strumienia. Materiały sypkie stosowane w badaniach obejmowały antracyt, petrol (pył z odpylania), FeSi oraz mieszaniny FeSi + petrol.

**1. WPROWADZENIE**

W procesach technologicznych coraz częściej sposób dozowania składników dla prawidłowego ich przebiegu wymaga stabilizacji warunków wprowadzania tych składników do układu urządzeń. Istotnymi parametrami są czas dozowania oraz równomierność przebiegu tej operacji pod względem ilościowym. Dla realizacji tak postawionego zadania można wykorzystać urządzenia pneumatyczne. W przedstawionej publikacji zamieszczono wyniki badań urządzenia dozującego, w którym wykorzystano energię sprężonego powietrza do dokładnego i stabilnego wprowadzania składników z przeznaczeniem zastosowania w procesie żeliwiakowym.

## 2. CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem przeprowadzonych prób jest określenie parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych zespołu urządzeń zasilanych energią sprężonego powietrza z przeznaczeniem do dozowania składników sypkich. Przewidywanym miejscem stosowania badanego zespołu urządzeń jest układ dozowania sypkich składników do żeliwiaka.

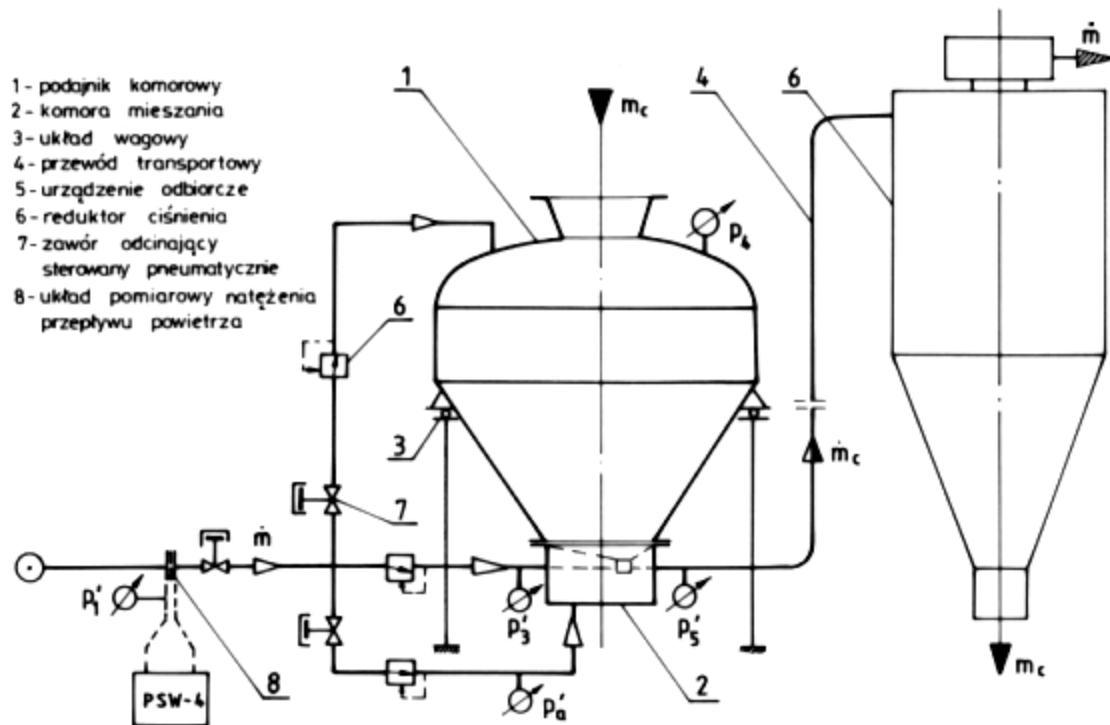
Materiały sypkie wytypowane do prób obejmują antracyt, żelazokrzem ziarnisty oraz pył z odpylania zwany petrolem, które dostarczone zostały do realizacji założonych technologii. Do prób przystosowany został zespół nadawczy (podajnik komorowy) wysokociśnieniowego transportu pneumatycznego systemu POLKO, w którym wprowadzono istotne zmiany konstrukcyjne uwzględniające wymagania stawiane w założonych warunkach.

W zakresie badań ujęto parametry eksploatacyjne, stabilność przebiegu procesu w wymaganym okresie dozowania oraz możliwość szybkiej i płynnej zmiany parametrów ilościowych. Założone parametry wprowadzania składników do wytypowanego miejsca w żeliwiaku zawierały się w granicach wydajności (natężenie przepływu materiału sypkiego)  $m_c = 0,033 - 0,083 \text{ kg/s}$  (2-5 kg/min) oraz czasu realizacji dozowania w stabilnych warunkach do  $t_d = 2 \text{ godz.}$

Stawiane wymagania obejmowały realizację zadania w niezmiennych warunkach przepływu strumienia, przy czym warunki te określone nastawą w układzie sterowania (wydajność) mogą być korygowane w zależności od przebiegu procesu.

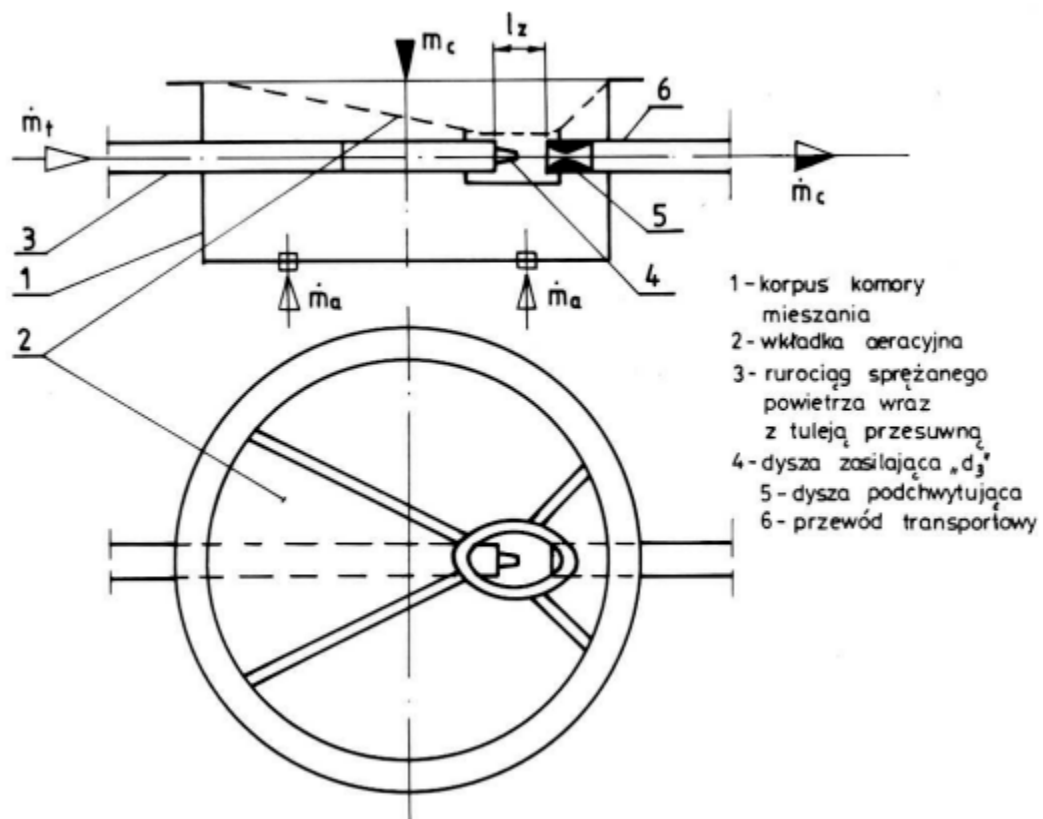
## 3. CHARAKTERYSTYKA UKŁADU BADAWCZEGO

Do prób dozowania materiałów sypkich wytypowano podajnik komorowy systemu POLKO o pojemności użytecznej  $V_n = 0,25 \text{ m}^3$ . Wykonany i wyposażony w system sterowania oraz dokładny układ ważący podajnik (przez Kooperację POLKO) przystosowany został do dozowania materiałów sypkich w zakresie wymaganych warunków przepływu (2-5 kg/min). Ciągła rejestracja zmiany masy podajnika z dokładnością  $\pm 0,1 \text{ kg}$ , umożliwia prowadzenie bieżącej oceny natężenia wypływu materiału sypkiego, a tym samym masowego natężenia przepływu strumienia (wydajność). Podczas badań materiał sypki przemieszczany był elastycznym przewodem transportowym o długości  $L = 25 \text{ m}$  i średnicy wewnętrznej  $d_w = 0,025 \text{ m}$  od podajnika do urządzenia odbiorczego. Schemat układu badawczego przedstawiono na rys. 1. Ponadto dokonano zmian konstrukcyjnych komory mieszania, w której zastosowano wyłożenie umożliwiające prowadzenie aeracji materiału sypkiego w podajniku. Dobór cech konstrukcyjnych komory mieszania dokonany został na podstawie wstępnych badań. Rozwiązanie techniczne komory mieszania zamieszczono na rys. 2.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczo pomiarowego stosowanego podczas prób dozowania.

Fig. 1. Scheme of the measuring and test stand utilised during the metering tests



Rys. 2. Rozwiązanie konstrukcyjne komory mieszania podajnika komorowego.

Fig. 2. Design of the mixing chamber of the chamber feeder

Określone podczas badań wstępnych parametry zasilania komory mieszania sprężonym powietrzem stwarzają możliwość uzyskania podciśnienia w układzie nadawczym. Oznacza to, że wprowadzony do podajnika komorowego materiał sypki w tych warunkach jest zasypywany do stożka podchwytyjącego i proces dozowania prowadzony może być bez konieczności hermetyzacji układu. Jednakże specyficzne właściwości badanych materiałów powodują intensywne jego zawieszanie się w miejscu wprowadzania do przewodu transportowego. Dlatego dla równomiernego zasypywania komory mieszania materiałem wprowadzono aerację złoża.

Badane materiały sypkie (antracyt, FeSi, petrol) w wyniku aeracji złoża ulegają upłynnieniu. Dla potrzeb procesu wprowadzania dodatków do żeliwiaka wymagana jest mieszanina Fe Si z antracytem oraz FeSi z petrolelem. Różnice gęstości i ziarnistości mieszaniny w procesie aeracji powodują rozdzielanie się tych materiałów. Rozdział składników stwierdzono po 60 s prowadzenia aeracji. Dlatego też długotrwałe przedmuchiwanie złoża dla jego upłynnienia powodujące rozdział składników nie jest korzystne dla zachowania jednorodności mieszaniny. Z kolei materiał nie upłynniony zsypuje się nierównomiernie, co uniemożliwia zachowanie warunków skutecznego dozowania. Problem ten rozwiązano stosując impulsową aerację w podajniku, w wyniku której uzyskano równomierne zsypanie się materiałów sypkich (bez zawieszania) eliminując zjawiska rozdziału poszczególnych składników mieszaniny. Tak prowadzony proces zapewnia wymaganą równomierność dozowania w czasie trwania całego cyklu (do 2 godzin) z zachowaniem jednorodności mieszaniny, co stwierdzono analizując poszczególne partie w urządzeniu odbiorczym.

Kolejnym problemem wymagającym rozwiązania było zagadnienie zmian oporów przepływu wynikających ze zmian przeciwcisnień u wylotu przewodu transportowego.

Jak wcześniej przedstawiono układ nadawczy (podajnik) spełnia swoją funkcję bez konieczności hermetyzacji urządzenia. W przypadku wzrostu oporów ruchu strumienia w przewodzie transportowym, występują zakłócenia w procesie dozowania. Dla ustabilizowanych warunków przepływu eżekcyjny sposób wprowadzania materiału sypkiego do przewodu transportowego jest skuteczny. Jednakże zmienne warunki eksploatacyjne mogą zakłócać prawidłowy przebieg dozowania. Dlatego też oprócz wykorzystania eżekcyjnego sposobu wprowadzania materiału sypkiego do przewodu transportowego, w warunkach eksploatacyjnych założono dodatkowo wymuszone nadciśnienie w podajniku, celem wtłaczania materiału do przewodu. Takie rozwiązanie, w połączeniu z impulsową aeracją pozwoliło na uzyskanie wysokiej efektywności dozowania nawet przy zmiennych warunkach przepływu strumienia w przewodzie transportującym.

## 4. BADANIA PROCESU DOZOWANIA MATERIAŁÓW SYPKICH.

### 4.1. Charakterystyka materiałów.

Z uwagi na założenia technologiczne procesu wprowadzania materiałów sypkich do żeliwiaka w pomiarach skuteczności dozowania stosowano następujące materiały:

- Antracyt mielony,
- FeSi (żelazokrzem),
- Petrol (pył z układu odpylania).

Materiały te różniły się właściwościami, które podane są w tab. 1.

Tabela 1

Właściwości materiałów sypkich stosowanych w badaniach

Nazwa materiału	Gęstość usypowa	Ziarnistość	Wilgotność
-	kg/m <sup>3</sup>	mm	%
Antracyt	880	0-2 mm	< 2,8
FeSi	1860	0-3 mm	< 1,3
Petrol	630	<0,5 mm	< 3,5

Do prób wykorzystano w/w materiały oraz mieszaniny:

Antracyt + FeSi (50 % + 50 %) wagowo

Petrol + FeSi (50 % + 50 %) wagowo

### 4.2. Sposób przeprowadzenia prób.

Zespół urządzeń przystosowany do prób pneumatycznego dozowania składników sypkich przedstawiony na rys. 1 wyposażony został w wymagany układ pomiarowy umożliwiający określenie następujących parametrów:

- masowe natężenie przepływu powietrza transportującego oraz powietrza wprowadzanego do układu aeracji (m),
- masowe natężenie przepływu materiału sypkiego w procesie dozowania ( $m_c$ ),
- prędkości przepływu strumienia w przewodzie transportującym (w początkowym odcinku)

Dla zrealizowania programu badawczego układ nadawczy (podajnik komorowy) wyposażono w dokładne urządzenia ważące, umożliwiające ciągłą rejestrację masy materiału sypkiego, system regulacji ilości wprowadzanego materiału sypkiego do przewodu transportowego oraz

sterowanie cyklicznym doprowadzeniem powietrza do komory mieszania (dla potrzeb aeracji).

Przygotowany do prób materiał zasypywano do podajnika komorowego i po określeniu wymaganych parametrów pracy układu badawczego (dokonaniu założonych nastaw) doprowadzono sprężone powietrze uruchamiając proces dozowania. Podczas przepływu strumienia materiału sypkiego i powietrza dokonywano odczytów parametrów niezbędnych do określenia masowego natężenia przepływu powietrza oraz masowego natężenia przepływu materiału. Kontrolę równomierności dozowania prowadzono w 10 s odstępach czasowych, dokonując odczytów masy przetransportowanego (zad dozowanego) materiału sypkiego. Wyniki pomiarów oraz obliczeń wskaźników charakteryzujących ruch strumienia w układach pneumatycznych zamieszczono w tabeli (p. 4.3).

#### 4.3. WYNIKI POMIARÓW I OBLICZEŃ

Zgodnie z przedstawionym na rys. 1. schematem układu badawczego prowadzono próby celem określenia optymalnych warunków zasilania urządzenia dozującego i stosowanych nastaw dla założonych wymagań przepływu strumienia dwufazowego. W tab. 2 zamieszczono wyniki prób i obliczeń uzyskane w określonych warunkach badań. Zastosowane w tab. 2 oznaczenia określają:

- $L_z$  - odległość przesunięcia dyszy zasilającej (rys. 2) w stosunku do stożka podchwytyjącego w komorze mieszania
- $p_3$  - nadciśnienie sprężonego powietrza w instalacji zasilającej,
- $p_4$  - nadciśnienie powietrza w górnej części podajnika,
- $p_a$  - nadciśnienie powietrza aeracji doprowadzonego do komory mieszania,
- $i$  - czas trwania impulsu aeracji złoża np.  $i=15/1$  oznacza włączenie aeracji na okres 1 s co 15 s (przerwa 15 s),
- $m_{cśr}$  - średnia wartość natężenia przepływu materiału sypkiego,
- $m$  - wartość masowego natężenia przepływu powietrza,
- $t_d$  - czas trwania próby dozowania.

Odczyty  $m_c$  dokonywane były w odstępach 10 s podczas trwania próby. Na podstawie badań wstępnych określono średnicę dyszy zasilającej w komorze mieszania, ustalając jej wartość  $d_3 = 5$  mm.

Tabela 2.

Wyniki badań i obliczeń procesu dozowania materiałów sypkich.

L. p.	Nazwa materiału	Parametry zadane					$m_{c\acute{s}r}$	m	$t_d$
		$l_z$	$P_3$	$P_4$	$p_a$	i			
-	-	mm	MPa	MPa	MPa	s	kg/s	kg/s	s
1	FeSi	10	0,3	0	0	0	0,0332	0,0239	480
2	FeSi	10	0,3	0	0,15	10/1	0,0338	0,0239	320
3	FeSi	15	0,3	0	0,15	10/1	0,0440	0,0182	260
4	FeSi	15	0,3	0,08	0,15	5/5	0,0775	0,0591	360
5	FeSi + A	10	0,3	0	0	0	0,0335	0,0239	240
6	FeSi + A	15	0,3	0	0	0	0,0385	0,0239	300
7	FeSi + A	25	0,3	0	0	0	0,0438	0,0239	300
8	FeSi + A	10	0,3	0	0,15	10/1	0,0338	0,0274	360
9	FeSi + A	10	0,3	0	0,15	10/2	0,0346	0,0323	320
10	FeSi + A	10	0,3	0,05	0,15	5/5	0,0873	0,0591	380
11	FeSi + A	15	0,3	0,02	0,15	15/3	0,0693	0,0323	300
12	FeSi + A	20	0,3	0,01	0,15	15/3	0,0847	0,0323	280
13	FeSi + P	15	0,3	0	0,15	15/1	0,0383	0,0182	240
14	FeSi + P	15	0,3	0,01	0,15	10/3	0,0650	0,0323	270
15	FeSi + P	15	0,3	0,01	0,15	15/5	0,0724	0,0239	240
16	FeSi + P	15	0,3	0,03	0,15	15/10	0,0972	0,0323	270
17	FeSi + P	15	0,3	0,04	0,015	10/10	0,1075	0,0323	240

W tab. 2. Materiały stosowane w badaniach posiadają oznaczenia:

FeSi - żelazokrzem ziarnisty,

FeSi + A - mieszanina żelazokrzemu i antracytu w stosunku 1:1 (wagowo),

FeSi + P - mieszanina żelazokrzemu i petrołu w stosunku 1:1 (wagowo).

## 5. ANALIZA WYNIKÓW

Założenia badawcze obejmowały ściśle określony zakres masowego natężenia przepływu materiału w granicach  $m_c = 0,033 - 0,083$  kg/s (2 – 5 kg/min)., przy czym istotnym parametrem jest równomierność podawania wytypowanych materiałów podczas całego cyklu dozowania. Uzyskiwane podczas prób wartości masowego natężenia przepływu materiału sypkiego zawierają się w granicach  $m_c = 0,0332 - 0,1075$  kg/s (2 – 6,5 kg/min) obejmując wymagany zakres. Przeprowadzone badania wstępne dla zakładanych warunków

eksploatacji stanowiły podstawę do doboru parametrów konstrukcyjnych układu (średnicą dyszy zasilającej  $d_3 = 5$  mm) oraz zasilania ( $p_3 = 0,3 \text{ --} 0,4$  MPa) gwarantując stabilny przepływ strumienia.

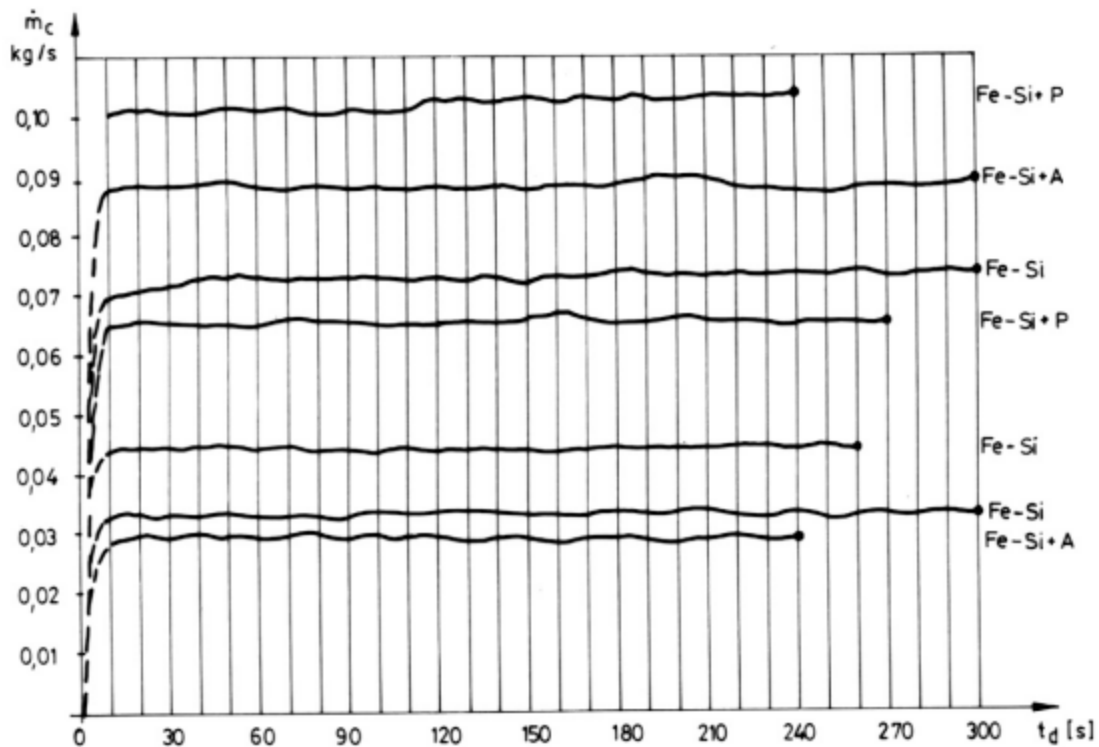
Przedmiotem prób jest określenie warunków pracy urządzenia, którego rozwiązania konstrukcyjne zostało przyjęte oraz sprawdzone podczas prób wstępnych. Istniejące układy dozowania łączą sposoby mechanicznego wprowadzania składników sypkich i pneumatycznego ich przemieszczania. Przedstawione rozwiązania eliminują układy mechaniczne, zachowując wymaganą dokładność i równomierność dozowania.

Uzyskane wyniki potwierdzają skuteczność działania proponowanego rozwiązania. Szeroki zakres regulacji oraz stabilizacja przebiegu procesu stanowi o funkcjonalności tego układu. Regulacja badanego układu polega na doborze stopnia wysunięcia dysz  $l_z$  oraz sposobu prowadzenia aeracji (upłynniania złoza w podajniku. Dla zakładanych niskich natężeń przepływu  $m_c = 0,033 \text{ --} 0,050$  kg/s (2 – 3 kg/min) widoczny jest wpływ sposobu aeracji przy zachowaniu stopnia wysunięcia dyszy  $l_z = 10$  mm. Zwiększając odległości  $l_z$  istnieją trudności w uzyskaniu niskich natężeń przepływu materiału z zachowaniem stabilności przebiegu procesu. Z kolei uzyskanie wyższych wartości  $m_c$  (powyżej 4 kg/min) jest możliwe jedynie przy prowadzeniu ciągłej aeracji, co prowadzi za sobą możliwość rozdziału frakcyjnego mieszaniny w złożu. Tym samym składniki o większym uziarnieniu i gęstości unoszony będzie w pierwszej kolejności natomiast pyły w końcowej fazie procesu. Stąd dla wyższych wartości  $m_c$  wskazane jest stosowanie większego wysunięcia dyszy  $l_z$  z równoczesnym impulsowym wprowadzaniem powietrza dla potrzeb aeracji. Proponowane rozwiązanie stanowiące przedmiot badań spełnia założoną funkcję przy minimalnym zużyciu sprężonego powietrza, które jedynie w warunkach ciągłej aeracji osiąga wartość  $m = 0,0591$  kg/s ( $V_n = 0,0338$  m<sup>3</sup>/s). Średnie zapotrzebowanie sprężonego powietrza nie przekracza wartości  $V_n = 0,021$  m<sup>3</sup>/s ( $V_n = 1,26$  m<sup>3</sup>/min). Równomierność dozowania, określona na podstawie stabilizacji masowego natężenia przepływu materiału podczas cyklu  $m_c$  przedstawiona jest na rys. 3.

## 6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI.

Przedstawione rozwiązanie konstrukcyjne podajnika komorowego transportu pneumatycznego spełnia warunki w zakresie dokładnego dozowania materiałów sypkich. Uzyskane wyniki potwierdzają stabilny, bez zakłóceń i równomierny ruch strumienia materiału w elastycznym przewodzie transportowym, przy czym właściwości materiałów badanych stwarzają problemy pneumatycznego przemieszczania z zastosowaniem innych rozwiązań konstrukcyjnych (bez aeracji).





Rys. 3. Przebiegi zmian masowego natężenia przepływu materiałów sypkich podczas prób – wyniki badań.

Fig. 3. Courses of the mass flow variations for loose materials during the tests – tests results.

Wyniki prób i obliczeń umożliwiają wysunięcie następujących wniosków::

1. Rozwiązania konstrukcyjne komory mieszania spełniają wymogi równomiernego i regulowanego wprowadzania materiałów sypkich do przewodu transportowego.
2. Układ rozwiązań transportu pneumatycznego stanowiący przedmiot badań umożliwia podawanie wytypowanych materiałów sypkich w zakresie masowych natężeń przepływu  $m_c = 0,033 - 0,083$  kg/s w warunkach stabilnego przepływu.
3. Regulacja masowego natężenia przepływu w zakresie małych wartości dokonywana może być zmianą położenia dyszy zasilającej, natomiast w zakresie wyższych wartości sposobem prowadzenia aeracji złoża.
4. Błąd w zakresie dokładności dozowania nie przekracza wartości 5 % , podczas pneumatycznego przemieszczania

**LITERATURA**

- [1]. Janerka K., Piątkiewicz Z., Szluczyk H.: Urządzenia do wdmuchiwania proszków do pieców metalurgicznych. Przegląd Odlewnictwa Nr. 6 1993.
- [2]. Jura S., Piątkiewicz Z., Janerka K., Szluczyk H.: Sprawozdanie z pracy naukowo - badawczej NB – 219/RMT- 3/96 pt.: Opracowanie technologii nawęglania żeliwa w piecu elektrycznym łukowym w warunkach Teksid Poland. Gliwice 1996.
- [3]. Neumann W., Wolf. K.: Injection of materials into the cupola. Casting Plant Technology International No.4 1997.
- [4]. Rossmann M., Dell G.: Gleichzeitiges Einblasen von Sauerstoff und Kohlenstaub in den Kupolofen. Giesserei 75 Nr. 1 1988.

**TESTS OF THE PNEUMATIC CONVEYING SYSTEM SUPPLYING LOOSE MATERIALS TO A CUPOLA****ABSTRACT:**

The present paper contains the description of the testing procedure for metering of the loose components provided for intensifying of a cupola process, tests results and calculations as well as their analysis according to attached scheme of the test stand. The analysis of the test results has confirmed the high uniformity of the process course in the range of demanded values of a stream flow intensity. Loose materials employed to the tests comprised anthracite, petrol (dust form a dust removal process), Fe-Si as well as mixtures of Fe-Si + petrol.