

Zbigniew PIĄTKIEWICZ

Bamian HOMA

Instytut Odlewnictwa  
Politechniki Śląskiej

## WPLYW PARAMETRÓW TRANSPORTU PNEUMATYCZNEGO NA PROCES TORKRETOWANIA

**Streszczenie:** Praca zawiera podstawowe zależności pomiędzy istotnymi parametrami transportu pneumatycznego z pkt. widzenia potrzeb procesu torkretowania a wielkościami sterowanymi, zadawanymi na wejściu urządzeń. Na podstawie analizy zależności, uzyskanych podczas wstępnej eksploatacji urządzeń w wytypowanych kopalniach, opracowano plan eksperymentu i na jego podstawie przeprowadzono badania stanowiskowe. Badania prowadzono w skali technicznej, stosując, jako materiały wiążące aktywowane spoiwa anhydrytowe. Otrzymane zależności w postaci wykresów i nomogramów są podstawą do ustalania i sterowania parametrami transportu pneumatycznego w warunkach dołowych.

### 1. Wstęp

Właściwie realizowana profilaktyka pożarowa i gazowa w kopalniach węgla kamiennego wymaga stosowania szeregu prac z zakresu podziemnego budownictwa górniczego. Do znanych sposobów realizacji profilaktyki zalicza się między innymi zabiegi torkretowania osłonego wyrobisk korytarzowych, wypełniania pustek w górotworze, uszczelniania skał a ostatnio budowę anhydrytowych pasów podsadzkowych wzdłuż ścian zawałowych [1].

O efektywności przeprowadzania wymienionych zabiegów decydują:

- technologiczny dobór odpowiednich receptur spoiw,
- konstrukcyjne rozwiązania urządzeń do transportu, mieszania, i dozowania komponentów według opracowanych receptur,
- przygotowanie i organizacja pracy w warunkach dołowych.

Opracowanie w Instytucie Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Pol. Śl. anhydrytowych spoiw aktywowanych i ekspansywnych, było implikacją do przeprowadzenia badań i skonstruowania urządzeń transportu pneumatycznego dla potrzeb wytwarzania ciekłych mieszanek anhydrytowych, powstających w zdyspergowanym trójfazowym strumieniu gaz - ciało stałe - ciecz. Badania takie przeprowadzono w Instytucie Odlewnictwa Pol. Śląskiej, dysponującym stanowiskiem badawczo - pomiarowym z możliwością transportu do 2.500 metrów oraz doświadczeniami z zastosowań transportu pneumatycznego w hutnictwie, budownictwie, energetyce i innych dziedzinach przemysłu [1].

W oparciu o posiadane doświadczenia z krajowymi urządzeniami transportu pneumatycznego systemu "POLKO", opracowano a następnie wykonano i wprowadzono do praktyki dołowej egzemplarze prototypowe urządzeń, skonstruowane z uwzględnieniem specyfiki robót górniczych. Transport pneumatyczny w warunkach dołowych jest jednym z nowoczesnych sposobów przemieszczania materiałów sypkich.

Łącząc takie zalety jak :

- hermetyzacja procesu,
- możliwość bezpośredniego wytwarzania mieszanin wielofazowych,
- dużą niezawodność działania,
- małe zapotrzebowanie przestrzeni w przekroju wyrobiska,
- możliwość szybkiej zmiany konfiguracji trasy,
- prostotę konstrukcji i łatwość obsługi,

powoduje, że w podziemnym budownictwie górniczym jest coraz szerzej stosowany do realizacji zróżnicowanych potrzeb [5].

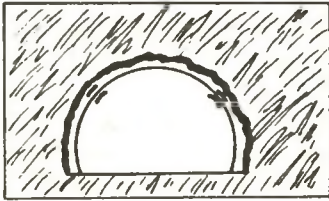
Zalety transportu pneumatycznego uwiadcniają się jeszcze bardziej w trakcie bezpośredniego wytwarzania mieszanin, zapraw i zaczynów w zdyspergowanym trójfazowym strumieniu gaz - ciało stałe - ciecz. Dotychczas taki proces wytwarzania mieszanin wiążących zastosowano w warunkach dołowych przy użyciu urządzeń systemu "POLKO" do operacji technologicznych, zamieszczonych schematycznie na rys.1.

Kając na uwadze parametry transportu pneumatycznego, jak również finalny efekt oddziaływania, można stwierdzić, że proces torkretowania jest z wymienionych operacji na rys.1 najtrudniejszy do zrealizowania. Wiąże się z tym zarówno cechy materiału /mączka anhydrytowa, gips/, parametry konstrukcyjne urządzeń, decydujące o uzyskiwanych wartościach transportowych, jak również cały szereg zagadnień, związanych z technologią prowadzenia robót. Dobór parametrów transportowych, związane zmiany konstrukcyjne urządzeń oraz prowadzone badania, realizowane były przy zastosowaniu metody "półsuchej". Metoda ta polega na przemieszczaniu i mieszaniu komponentów sypkich w przewodach transportowych, natomiast komponenty ciekłe dodawane są i mieszane z przepływającą strugą solgazu na końcu przewodu.

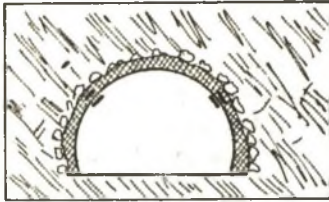
Na zastosowanie metody "półsuchej" wpływ miały następujące czynniki:

- stosunek komponentów ciekłych do sypkich, zawierający się zgodnie z otrzymanymi recepturami [7] w granicach 0,15 - 0,30,
- konieczność transportu materiałów sypkich na znaczne odległości, przekraczające niejednokrotnie 1000 m.

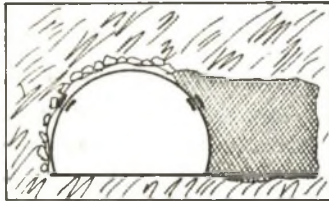
Należy nadmienić że zastosowanie metody "mokrej" do wytwarzania i transportu mieszanek anhydrytowych znacznie pogarsza parametry konstrukcyjne spoiw, jak również znacznie ogranicza odległość transportu - praktycznie do 200 m. Kając na uwadze możliwość szerokiego zastosowania spoiw anhydrytowych, przeprowadzono kompleksowe badania parametrów transportu pneumatycznego oraz wytwarzania mieszanek metodą półsuchą dla ustalenia zależności pomiędzy cechami konstrukcyjnymi urządzeń a istotnymi technologicznymi parametrami transportowymi.



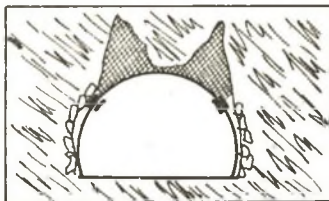
1.a. NANOSZENIE TORKRETU  
OSŁONOWEGO



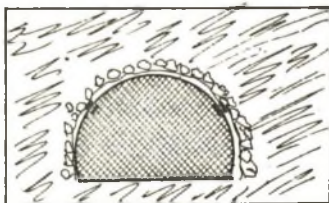
1.b. WYPEŁNIANIE PUSTEK POMIĘDZY  
OCIOSEM A OBUDOWĄ



1.c. BUDOWA ANHYDRYTOWYCH PASÓW  
PODSADZKOWYCH WZDŁUŻ ŚCIAN  
ZAWAŁOWYCH



1.d. WYPEŁNIANIE PUSTEK, WYRW  
I OBWAŁÓW



1.e. BUDOWA TAM I KORKÓW  
PODSADZKOWYCH, LOKOWANIE  
PYŁÓW DYMNICOWYCH I INNYCH  
ODPADÓW POEKSPLOATACYJNYCH  
W WYROBISKACH

Rys.1. Operacje technologiczne, wykonane dotychczas z użyciem urządzeń transportu pneumatycznego systemu "POLKO"

## 2. Badania procesu torkretowania

Badania transportu pneumatycznego, prowadzone w Instytucie Odlewnictwa Politechniki Śląskiej, mają charakter teoretyczny i praktyczny. Prace teoretyczne zmierzają w kierunku rozwiązywania zagadnień, dotyczących obliczeń instalacji transportowych [2].

Prace o charakterze praktycznym polegają na opracowywaniu optymalnych rozwiązań konstrukcyjnych elementów i podzespołów układów transportowych, atestowaniu nowo skonstruowanych urządzeń oraz zastosowaniu transportu pneumatycznego do procesów technologicznych w różnych dziedzinach przemysłu. [3].

W niniejsze opracowanie zawiera część badań, prowadzonych pod kątem możliwości zastosowań urządzeń transportu pneumatycznego systemu "POLKO" do torkretowania wyrobisk górniczych. Proces wytwarzania ciekłych i gęstopłynnych mieszanin, zarówno do torkretowania jak i innych operacji, zamieszczonych schematycznie na rys.1, wymaga ścisłego utrzymania parametrów transportu pneumatycznego do których można zaliczyć:

- wydajność instalacji,  $m_c$  [kg/s],
- koncentrację mieszaniny,  $\mu$  [kg/kg],
- stosunek komponentów ciekłych do sypkich,  $k$  [kg/kg].

Stabilność powyższych parametrów, jak również możliwość sterowania nimi w wymaganych granicach, rzutuje w zasadniczy sposób na prawidłowe i efektywne wykonanie zamierzonej operacji technologicznej.

Po próbnej eksploatacji urządzeń prototypowych w warunkach dołowych ustalono wartości parametrów zadawanych na wejściu urządzeń transportowych oraz zakres ich zmienności, zakładając, że w istotny sposób wpłyną na zmiany wymienionych parametrów transportu.

Jako parametry wejściowe, zadawane w urządzeniu przyjęto:

$P_z$  - ciśnienie zasilania,

$P_p$  - ciśnienie nad powierzchnią materiału w podajniku komorowym,

$D_r$  - średnicę dyszy roboczej,

$D_p$  - średnicę dyszy pomocniczej.

Wstępne określenie parametrów wejściowych było podstawą do opracowania planu eksperymentu w którym przyjęto trzy poziomy badań dla następującego zakresu zmienności parametrów wejściowych:

parametr	-1	0	+1	
$P_z$	0,4	0,5	0,6	[kPa]
$P_p$	0,2	0,3	0,4	[kPa]
$D_r$	0,06	0,10	0,16	[m]
$D_p$	0,02	0,06	0,10	[m]

Zgodnie z teorią planowania eksperymentu [6], wybrano planowanie

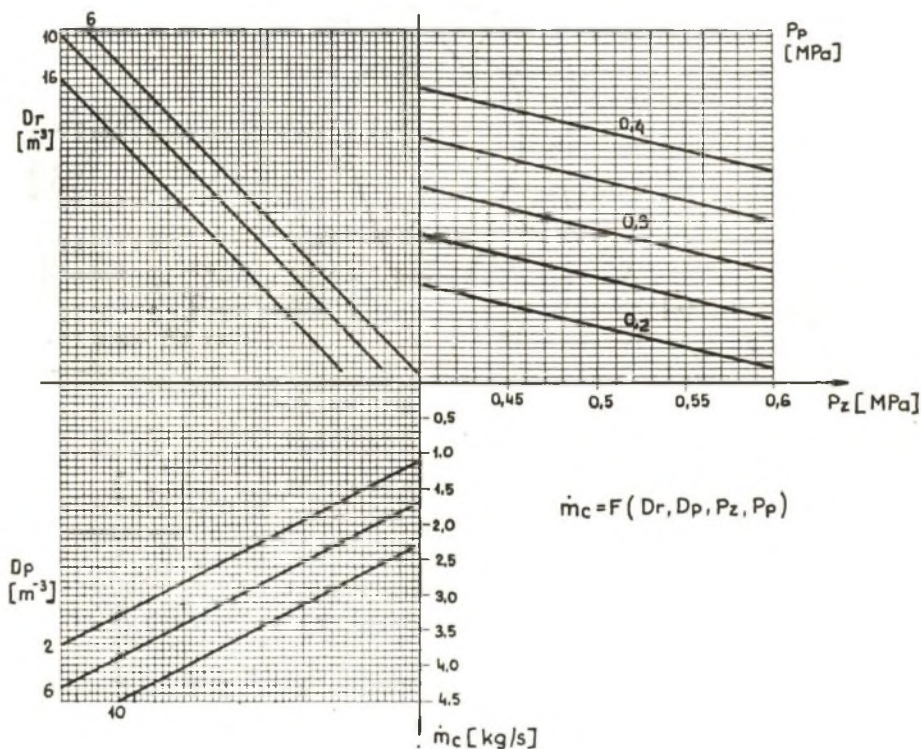
2 - optymalne, które dla 4 zmiennych na 3 poziomach przewiduje 49 prób.





### 3. Analiza wyników badań

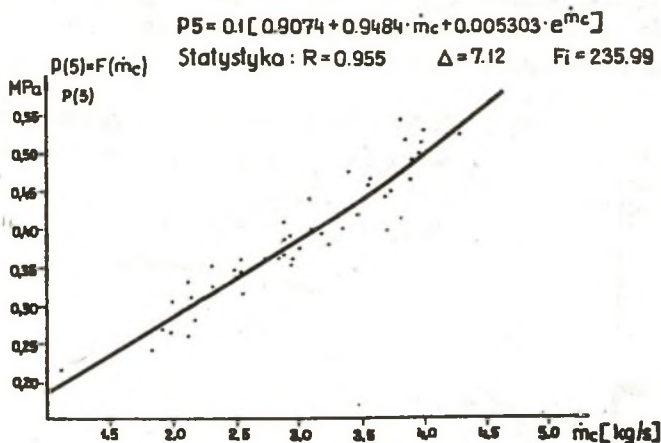
Na podstawie przeprowadzonych pomiarów uzyskano wyniki, pozwalające na określenie istotnych parametrów transportu pneumatycznego w aspekcie potrzeb procesu torcretowania. Określono również możliwe do uzyskania zakresy regulacji urządzeń w zależności od wprowadzanych zmian parametrów wejściowych. Posługując się metodą regresji krokowej opracowano nomogramy zależności wydajności, koncentracji mieszaniny, prędkości wylotowej i innych parametrów od czterech parametrów wejściowych  $P_z, P_p, D_r, D_p$ . Nomogramy te pozwalają na szybki dobór zarówno niektórych cech konstrukcyjnych urządzeń, jak i określenie możliwych do uzyskania zakresów zmian poszczególnych parametrów.



rys.3. Zmiany masowego natężenia przepływu komponentów sypkich  $\dot{m}_c$  w funkcji parametrów wejściowych  $[P_z, P_p, D_r, D_p]$

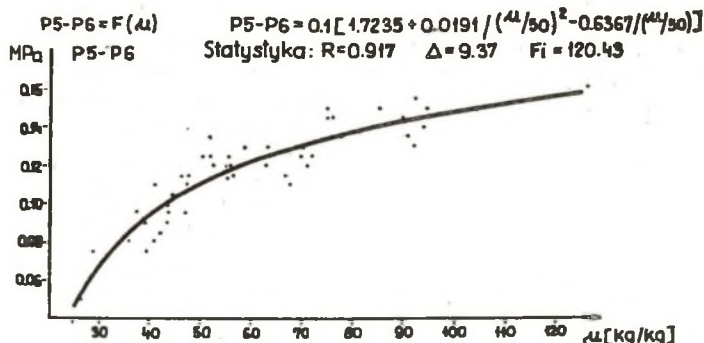
Istotnym problemem w konstruowaniu urządzeń jest określenie zależności pomiędzy wielkościami zadawanymi a oczekiwaną wartością parametru wyjściowego. Zazwyczaj dąży się do możliwości uzyskania odpowiedniego zakresu zmian parametru wyjściowego poprzez zmianę tylko jednego z parametrów wejściowych. Z analizy zamieszczonego nomogramu wynika,

że prawdopodobnie ciśnienie w podajniku komorowym  $/P_p=P_5/$  istotnie wpływa na zmianę masowego natężenia przepływu  $/\dot{m}_o/$ . Po wyliczeniu, zależność tę przedstawiono na rys.4.



Rys.4. Wartości ciśnienia w podajniku komorowym  $/P_p=P_5/$  w funkcji natężenia przepływu  $/\dot{m}_o/$

Określenie zależności jednoparametrowych pozwala na wprowadzenie znacznych uproszczeń zarówno w konstrukcji urządzeń, jak i sterowaniu. Drugim parametrem, wpływającym istotnie na jakość prowadzenia procesu torkretowania jest koncentracja mieszaniny  $\mu$ . Tak jak w przypadku masowego natężenia przepływu, określono zależności pomiędzy koncentracją a istotnymi parametrami /stanami/ wejściowymi.

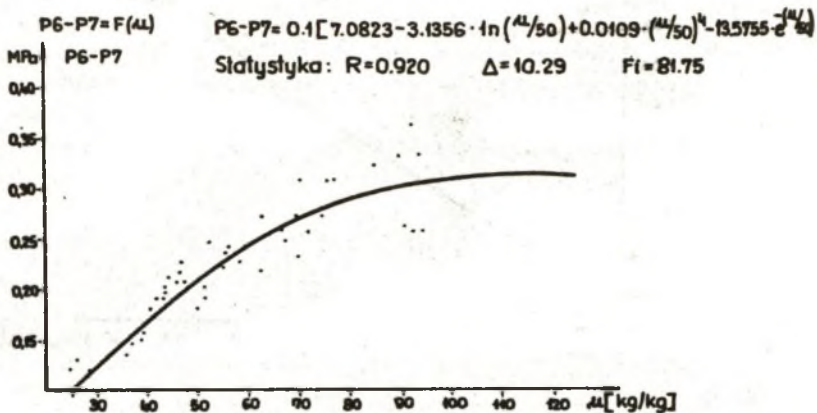


Rys.5. Zależność różnicy ciśnień  $P_5 - P_6$  od masowej koncentracji mieszaniny  $/\mu/$

Znajomość tych zależności pozwala na projektowanie urządzeń transportowych, gwarantujących poprawne i efektywne wykonanie torkretu lub innej, podobnej operacji. Należy nadmienić, że znajomość uzyskanych zależności w połączeniu z opracowanymi algorytmami projektowania lini



transportowych [2], pozwala na wstępne określenie parametrów transportu dla danego materiału, niezależnie od długości i konfiguracji układu. Niezbędne w tym przypadku staje się określenie spadku ciśnienia dla przewodu transportowego, będące charakterystyczną cechą własności reologicznych komponentów sypkich. Zależność taką dla badanej mączki anhydrytowej zamieszczono na rys.6.



Rys.6. Spadek ciśnienia w przewodzie elastycznym  $\frac{P_6 - P_7}{\mu}$  w funkcji masowej koncentracji mieszaniny  $\frac{P_6 - P_7}{\mu}$

O poprawności wykonania warstwy torcretu decyduje również w istotny sposób nawilżanie komponentów sypkich, realizowane w układzie dynamicznym. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że opracowane rozwiązania konstrukcyjne dozowników komponentów ciekłych, pozwalają na nawilżenie przepływającej strugi pod warunkiem zachowania stabilnego wpływu komponentów sypkich. Urządzenia do nawilżania posiadają możliwość uzyskania stosunku komponentów ciekłych do sypkich w granicach  $k$  od 0 do 0,7, przekraczają więc znacznie wymagany zakres  $0,15 + 0,30$ . Oprócz omówionych krótko parametrów transportowych  $m_0, \mu, k$ , należy wspomnieć o zależnościach, wynikających z wzajemnego powiązania tych parametrów z prędkością fazy gazowej, decydującą o eksploatacyjnych możliwościach wykonywania torcretu, jak i mieszanek do innych celów. W projektowanych instalacjach transportu pneumatycznego zakłada się zazwyczaj prędkości fazy gazowej znacznie przekraczające rzeczywiste potrzeby. Powoduje to nadmierne zużycie sprężonego gazu, jak również zwiększoną erozję przewodów transportowych. W procesie wytwarzania ciekłych mieszanek a zwłaszcza przy torcretowaniu, istnieje przedział po przekroczeniu którego prędkość fazy gazowej może negatywnie oddziaływać na proces zarówno nawilżania, jak i tworzenia warstwy torcretu. Wiążą się z tym zagadnienia zasięgu strugi, kąta rozpylenia, prędkości uderzenia cząstek o torcretowaną powierzchnię, odpad i inne zagadnienia nie omawiane powyżej z uwagi na określone ramy referatu.



#### 4. Wnioski

- A. Na podstawie analizy statystycznej, stwierdzono poprawność przyjęcia niezależnych parametrów wejściowych  $\{P_z, P_p, D_r, D_p\}$  w aspekcie istotnych parametrów transportu pneumatycznego  $m_c, \mu$ .
- B. Dzięki zastosowanym metodom obliczeniowym, określono wpływ parametrów zadawanych na poszczególne parametry transportu, co pozwala na znaczne uproszczenia w układzie sterowania.
- C. Wartości uzyskanych parametrów, jak również zakresy sterowania, pozwalają na realizację operacji torkretowania i wytwarzania ciekłych mieszanek w warunkach dołowych dla szerokiego programu przedstawionego na rys.1.
- D. Opracowane wykresy i nomogramy pozwalają w połączeniu z dysponowanymi metodami obliczeniowymi na opracowanie założeń projektowych dla dowolnej konfiguracji i długości linii transportowej.

#### Literatura

- 11I Piątkiewicz Z., Homa D.: Zastosowanie urządzeń transportu pneumatycznego do procesu torkretowania. ZN Pol.Śl.nr.66.1978.
- 12I Piątkiewicz Z.: Teoretyczne podstawy obliczeń transportu pneumatycznego. WZO.nr.29, 1980.
- 13I Homa D., Piątkiewicz Z., Kowalski E.: Badania urządzeń transportu pneumatycznego w aspekcie potrzeb procesu torkretowania ZN Pol.Śl.nr.77, 1984.
- 14I Homa D. i inni : Zastosowanie anhydrytowego pasa podsadzkowego do ochrony chodników przyścianowych i uszczelniania zrobów. Wiadomości Górnicze nr.9, 1984.
- 15I Homa D., Majchrzak B.: Technology and Equipment for Pneumatic Transport System "POLKO" applied for Anhydrite Bonds in Mining Industry. Mat. Conf. SIMEK 85, Katowice 1985.
- 16I Mańczak K.: Technika planowania eksperymentu. Warszawa 1976.
- 17I Chudek M. i inni : Wdrożenia i badania "in situ" spoiw ekspansyjnych dla utrzymania i ochrony wyrobisk górniczych. Problem Resortowy nr.119. Gliwice, 1982./praca niepublikowana/.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Ludwik PASTUCHA

Wpłynęło do Redakcji 1987.03.28

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПНЕВМОТРАНСПОРТА НА ПРОЦЕСС ТОРКРЕТИРОВАНИЯ

## Резюме

В работе была представлена зависимость параметров пневмотранспорта от управляющих параметров, выступающих во время процесса торкретирования. На основе анализа зависимости, полученного во время предварительной эксплуатации установок в выбранных шахтах, был разработан план эксперимента и на его основе проведены стендовые испытания. Во время испытаний были определены зависимости между параметрами пневмотранспорта влияющие решающим образом на правильность проведения процесса торкретирования ( $\dot{m}_c, \mu$ ) и параметрами заданными на входе оборудования ( $P_z, P_p, D_r, D_p$ ).

Было определено влияние отдельных параметров транспорта на возможность получения трёхфазной дисперсной смеси: газ-твёрдое тело-жидкость для изготовления пластических смесей с консистенцией пластичной или жидкой на базе активированных ангидридных связок.

Испытания проводились на стенде изготовленном в технической школе, отсюда следует, что полученные зависимости пригодны для непосредственного использования транспортным оборудованием в подземных горных выработках.

THE INFLUENCE OF PNEUMATIC TRANSPORT PARAMETERS  
ON THE PROCESS OF CONCRETE SPRAYING

## Summary

The work presents the dependencies of pneumatic transport parameters on steering parameters characterizing the process of guniting. The plan of the experiment was worked out on the basis of analysis of dependencies obtained during the preliminary exploitation of devices in the selected coal-mines, and on its basis station tests were carried out. During experiments the dependencies between pneumatic transport parameters were determined; they are decisive for correctness of carrying out guniting process ( $\dot{m}_c, \mu$ ), and parameters controlled at the input of the device ( $P_z, P_p, D_r, D_p$ ).

The influence of individual transport parameters on the possibility of obtaining triphase dispergated mixture gas - solid - liquid for producing thick and liquid consistence on the basis of active anhydrate binders was determined.

These experiments were carried out on the station which was made in the technical scale therefore the dependences obtained presented as diagrams and nomograms are ready for direct usage in underground exploitation of transport devices.