

Jan MIKOŚ i Jan KOWAL

Politechnika Śląska  
Instytut Technologii i Organizacji Budownictwa  
Zakład Doświadczalny  
"PRAS-BET" Gliwice

## PRZEPŁYWY PNEUMATYCZNE W UKŁADZIE PODCIŚNIENIOWEGO ZAWIESIA DO TRANSPORTU PŁYT O ZMIENNEJ PERFORACJI

**Streszczenie.** Referat dotyczy podciśnieniowego transportu płyt betonowych o małej sztywności i dowolnie zmiennej perforacji. W pracy określono warunki przepływu powietrza między komorami przysawkowymi zawiesia a komorą dekompresji i zbiornikiem powietrza o obniżonym ciśnieniu.

### 1. Wprowadzenie

Energia zawarta w gradiencie ciśnienia powietrza jest obecnie szeroko wykorzystywana w transporcie pneumatycznym. Spośród różnych jej zastosowań może być ona wykorzystana do transportu różnego rodzaju płyt.

Zagadnienie przenoszenia płyt twardych i pełnych przy użyciu urządzeń wykorzystujących różnicę ciśnień jest znane w literaturze [1], [3], [4], [5].

W przedmiotowym referacie przedstawiono zagadnienie podciśnieniowego transportu płyt o zmiennej perforacji i o małej twardości. Rozwiązanie tego zagadnienia wymagało opracowania drogą analiz i kolejnych doświadczeń zawiesia o 3 komorach współdziałających ze sobą za pomocą samoczynnych zaworów i tworzących wraz z nimi i pompą próżniową podciśnieniowy układ zawiesia dla przepływów powietrza. Układ ten wraz z konstrukcją nośną, instalacją sterowania i zasilania oraz przenoszoną płytą tworzy układ transportowy.

Zawiesie o takim rozwiązaniu i wymiarach 600 x 300cm pracuje już trzy lata w Zakładzie Produkcji Elementów Budowlanych w Bytomiu, gdzie produkowane są płyty betonowe wg technologii "PRAS-BET" o zróżnicowanych wymiarach i perforacji, z których największe mają ciężar 60 kN.



Do utrzymania stałej wartości podciśnienia w obrębie komór przyssawek  $V_3$  i komory roboczej  $V_2$  służy system odpowiednich uszczelnień gumowych oraz zbiornik wyrównawczy  $V_1$  wraz z pompami próżniowymi.

Między zbiornikiem  $V_1$  o podciśnieniu  $p_1$  a komorą  $V_2$  o podciśnieniu  $p_2$  znajdują się elektromagnetyczne zawory EM-2, które regulują wielkość różnicy ciśnień  $V_1$  i  $V_2$ . Dzięki tym zaworom możliwa jest eksploatacja zawiesia przy następujących warunkach sił /ciśnień/:

$$p_1 = p_2$$

lub

$$p_1 < p_2$$

W obydwu przypadkach wielkość podciśnienia  $p_2$  musi spełniać określone wymagania pełnego bezpieczeństwa i poprawnej eksploatacji zawiesia.

Do uzyskania szczelności komory  $V_2$  a jednocześnie uzyskania żądanej i dowolnie określonej powierzchni przyssania służą samoczynne zaworki pneumaticzne PS, /rys. 3a, 3b i 3c/, które na skutek przepływu powietrza spowodowanego różnicą ciśnień samoczynnie otwierają i zamykają komorę  $V_2$ .

Zdjęcie elementu z zawiesia /odczepienie/ jest możliwe po zadziałaniu zaworów zwrotnych EM-2p, które powodują wyrównanie się ciśnienia między atmosferą a komorami uszczelki  $V_3$  i komorą roboczą  $V_2$ .

### 2.1. Warunki równowagi statycznej

Podstawowym warunkiem równowagi statycznej zawiesia podciśnieniowego jest równowaga sił pionowych działających na transportowaną płytę.

Z warunku tego oraz z rys. 2 wynika:

$$\pm \sum_I S_{d1} / p_d - p_a / = \sum_I S_{p1} / p_a - p_p / - G,$$

gdzie:

$\sum_I S_{d1}$  - powierzchnia docisku. Powierzchnia ta jest sumaryczną powierzchnią uszczeltek gumowych stykających się z powierzchnią płyty betonowej.

$\pm p_d$  - naprężenie przy docisku uszczeltek do płyty betonowej. Znak "minus" oznacza odpadnięcie całej płyty. Znak "plus" oznacza dociskanie płyty do uszczeltek zawiesia; płyta może być transportowana przez zawiesie.

$p_d \sum_I S_{d1}$  - siła docisku. Wielkość tej siły decyduje o udźwigu zawiesia podciśnieniowego i stanowi dla płyty odpowiednio sztywnej i twardej zasadniczy parametr bezpieczeństwa transportu. W praktyce wartość tej siły ulega zmniejszeniu o sumę oporów ośrodka wyrażoną współczynnikiem ośrodka K 1.

$p_p$  - podciśnienie w komorach  $V_3$ .

$\sum S_{p1}$  - powierzchnia komór  $V_3$ .

G - ciężar transportowanej płyty.

## 2.2. Warunek równowagi dynamicznej

W przypadku powstania zmian w ruchu transportowanej płyty powstaną dodatkowe siły działające na układ transportowy. Najistotniejszą z nich dla bezpieczeństwa transportu będzie siła bezwładności przenoszanej płyty  $G_b$ , powstająca podczas jej pionowego opuszczania lub

podnoszenia, kiedy pojawia się przyśpieszenie  $\pm a$

$$G_b = \pm a \cdot m.$$

Wpływ tej siły najogólniej można wyrazić następująco

$$\pm \sum_I S_{d1} / p_d - p_a / = \sum_I S_{p1} / p_a - p_p / -$$

$$- m / g \pm a /,$$

gdzie:

$m$  - masa transportowanej płyty.

Pomija się tu wpływ oporów powietrza oddziaływujących na transportowaną płytę z uwagi na bardzo małe ich wartości.

### 3. Przepływy pneumatyczne w układzie zawiesia

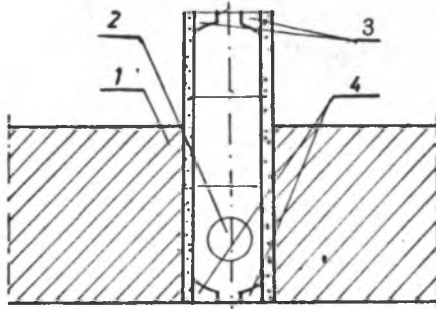
Opisanie przepływów w układzie podciśnieniowym zawiesia wymaga określenia:

- przewodności układu,
- szybkości przepływów,
- warunków samosterowności pneumaticznych zaworów PS.

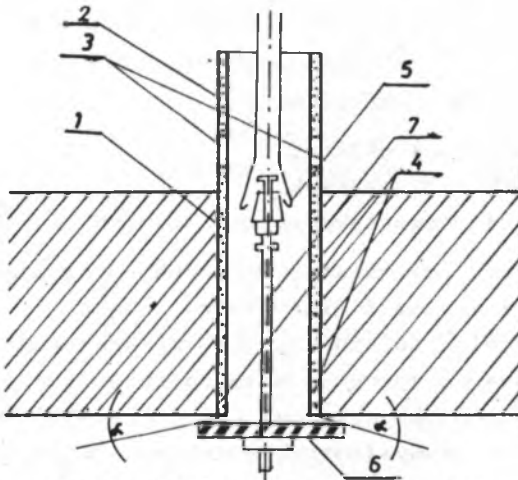
Ogólne zależności fizyczne wyrażające przewodność układu i szybkość przepływów wzięto z pracy 6 i 7. W referacie zależności te wykorzystano jako podstawę wyjściową do wyprowadzenia zależności szczegółowych, za pomocą których wykonane zostały obliczenia przepływów zawiesia przemysłowego, potrzebne do jego zaprojektowania.

Wyjściowym parametrem przepływów jest przewodność układu  $G$ , która determinuje uzyskanie poszukiwanej szybkości przepływu  $S'$ , zredukowanej o wpływy oporów  $W$ . Szybkość  $S'$  jest obok różnicy ciśnień zasadniczym parametrem przepływu warunkującym uzyskanie żądanej energii przepływu powodującej samoczynne działanie zaworów pneumaticznych PS. W pracy przyjęto aerodynamiczny

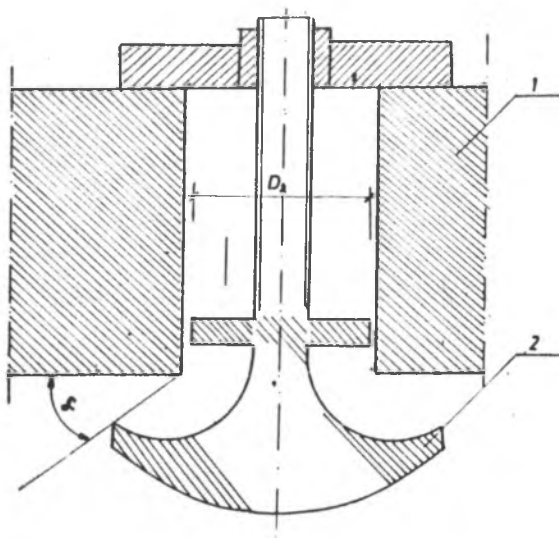
charakter przepływów zakładając, że powietrze jest gazem doskonałym. W oparciu o pracę [2] i o obliczenie cytowane w referacie oraz przeprowadzone badania laboratoryjne skonstruowano trzy typy zaworów PS, które przedstawiono na rys. 3a, 3b i 3c.



Rys.3a. Zawór pneumatyczny typ A:  
 1- płyta dolna komory  $V_1$ ,  
 2- kulka,  
 3- gniazdo zamykające przepływ,  
 4- gniazdo otwierające przepływ



Rys.3b. Zawór pneumatyczny typ B  
 1- płyta dolna komory  $V_1$ ,  
 2- oprawka ebonitowa,  
 3- otwory,  
 4- połączenie klejowe,  
 5 - styki sygnalizacji świetlnej,  
 6- uszczelnienie z gumy,  
 7- ruchoma iglica.



Rys.3c. Zawór pneumatyczny typ C:  
 1- płyta dolna komory V  
 2- grzybek z nakrętką regulowaną  
 ze sztucznego tworzywa

### 3.1. Przewodność układu podciśnieniowego

Przepływowi powietrza przez przewody towarzyszy tarcie  $W$ , które zmniejsza szybkość przepływu  $S$  wyliczoną przy założeniu istnienia przegrody o długości /grubości/  $L = 0$ .

U wlotu do przewodu szybkość powietrza wynosi  $S'$ . Gdyby opory przepływu były równe zero, tzn. przewodność  $G = \infty$ , szybkość przepływu wynosiłaby  $S = S'$ .

W rzeczywistości istnieją opory przepływów  $W$ , których odwrotność jest przewodnością  $G$ .

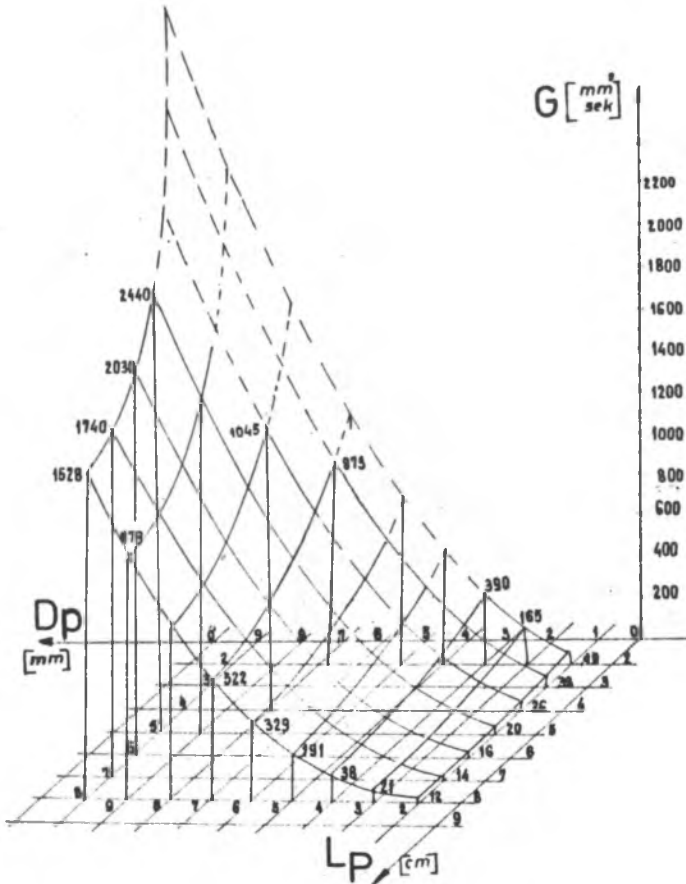
$$W = \frac{1}{S'} - \frac{1}{S},$$

$$\frac{1}{G} = \frac{1}{S'} - \frac{1}{S}.$$

Dla przewodu rurowego o przekroju kołowym /średnica  $D_p$ , długość  $L_p$ /, któremu odpowiada kształt rozpatrywanego zaworka pneumatycznego PS, przewodność przy warunkach  $L_p \geq 5 D_p$  wynosi:

$$G = 5 \cdot 10^{-12} \frac{T}{m_0} \cdot \frac{D^3}{L}$$

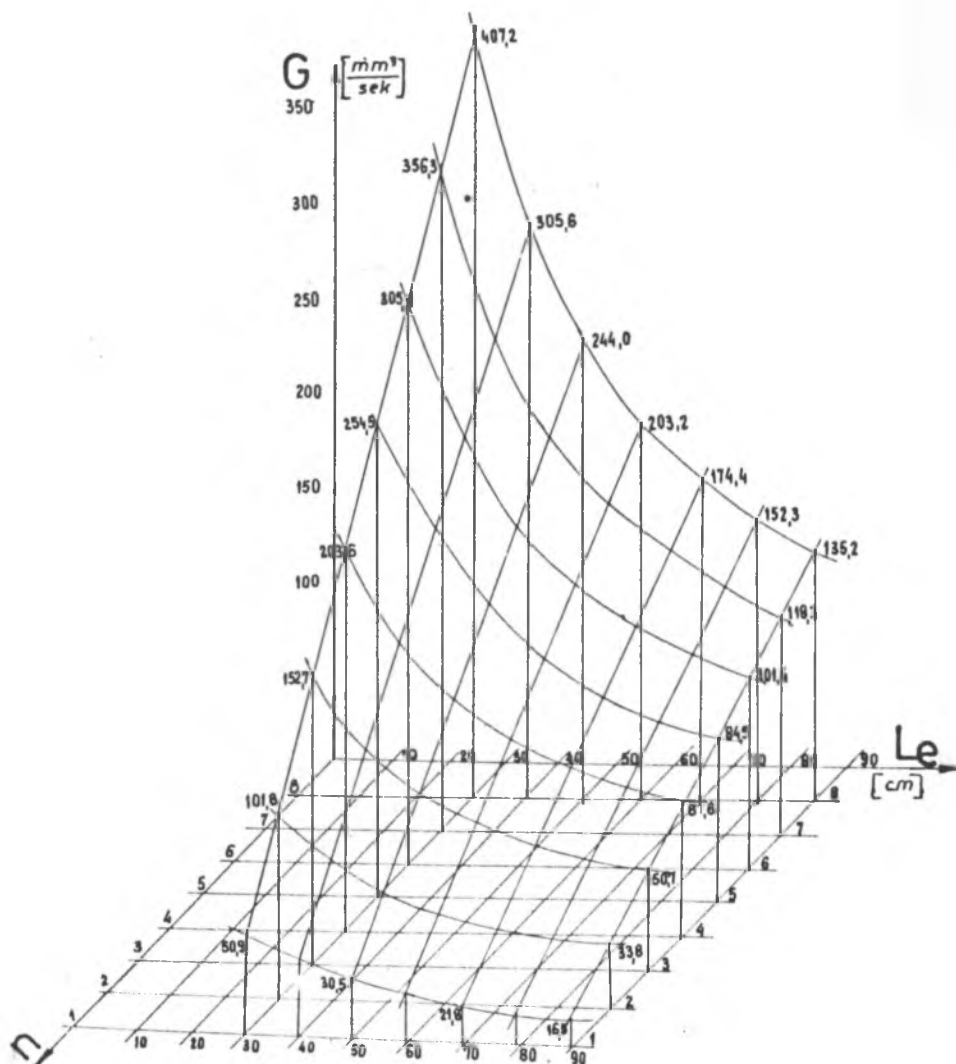
Zależność  $G = f / \frac{D_p}{L_p}$  dla  $T = 300^\circ\text{K}$  oraz  $m_0 = 48 \cdot 10^{-24}$  /masa cząsteczki powietrza/ przedstawia rys.4.



Rys. 4. Zależność przewodności zaworka pneumatycznego PS od średnicy przewodu  $D_p$  i jego długości  $L_p$ .



Identycznie rozpatrywano przewodność przewodu dla elektrozaworów EM-2, przy czym na rys. 5 przedstawiono zależności przewodności  $G$  od długości przewodu  $L_e$  oraz ilości elektrozaworów  $n$  przy ich nominalnej średnicy  $D_e = 50$  mm.



Rys. 5. Zależność przewodności przewodu elektrozaworów EM-2 od ich ilości  $n$  i długości  $L_e$ .

### 3.2. S z y b k o ś ć p r z e p ł y w u

Istotną jest zależność między szybkością przepływu  $S'$  powietrza przez zawory PS a różnicą ciśnień między komorą roboczą  $V_1$ , a atmosferą oraz kształtem tego zaworu.

Znając przewodność  $G$  można dla danej szybkości  $S$  określonej wyrażeniem:

$$S = \frac{C_3 / p_0 - p_1 / p_0}{p_0} \frac{2 C_1 \cdot T}{m_0}$$

ustalić szybkość  $S'$  po uwzględnieniu przewodności  $G$  wg relacji:

$$S' = \frac{S}{1 + \frac{S}{G}}$$

gdzie:

- $m_0$  - masa cząsteczki powietrza
- $T$  - temperatura
- $C_1, C_3$  - wartości stałe [5]
- $p_0 - p_1$  - różnica ciśnień.

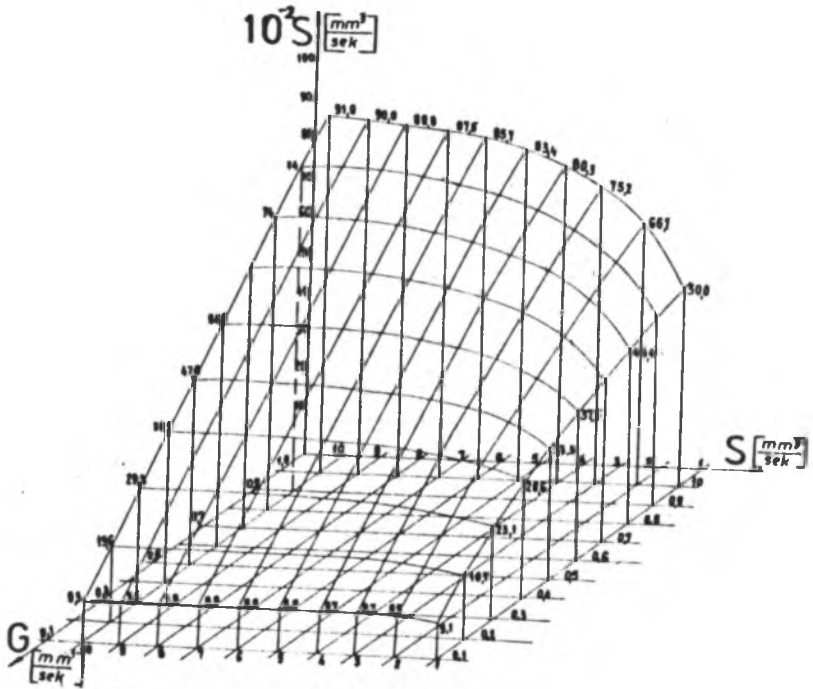
Na rys.6 przedstawiono graficzny obraz zależności  $S' = f / S, G /$  w przedziałach zmiennych odpowiadających wymogom użytkowym.

Wpływ części ruchomej zaworka na szybkość  $S'$  został określony doświadczalnie w badaniach laboratoryjnych. Wyniki tych badań oraz wyniki obliczeń przedstawionych wyżej wielkości pozwoliły na skonstruowanie trzech typów zaworów PS /rys.3a,3b i 3c/. Zawory te zostały poddane próbom technicznym. Do przemysłowej eksploatacji wybrano zawór wg rys.3c.

### 3.3. S a m o s t e r o w n e z a w o r y p n e u - m o n i c z n e PS

#### 3.3.1. Z a w ó r k u l k o w y

W tym rozwiązaniu zawór pneumoniczny stanowi rurka o średnicy  $D_1$  oraz nośny element ruchomy, np. kulka



Rys.6. Zależność szybkości przepływu  $S'$  od przewodności  $G$  i szybkości  $S$  dla  $W = 0$

o średnicy  $d_1$  rys.3a. Przepływający strumień powietrza napotykać na opór kulki stara się nadać jej ruch i je li opór ten będzie większy od siły ciężkości, kulka zmieni swe położenie i znajdzie się w specjalnym gnieździe zamykając tym samym przepływ.

Ogólnie opór przepływu można wyrazić  $\gamma$  :

$$R = C_0 \cdot \rho \cdot d \cdot v^2,$$

gdzie:

$R$  - opór kulki,  $C_0$  - współczynnik oporu kulki  
 - gęstość ośrodka,  $v$  - prędkość przepływu powietrza,  $d$  - średnica kulki.

Wartość współczynnika  $C_0$  zależy od charakteru przepływu powietrza. Dla ruchu laminarnego można przyjąć  $C_0 = \text{const}$ , natomiast dla przepływów turbulentnych wartość  $C_0$  maleje i jest uzależniona od powstających wirów.

W związku z tym celowe jest stosowanie dla tego typu zaworka prędkość przepływów laminarnych.

Uwzględniając siły tarcia można opory wyrazić również jako sumę oporów:

$$R = a v^2 + b v,$$

gdzie pierwszy składnik stanowi właściwy opór przepływu natomiast drugi składnik uwzględnia siły tarcia. Przy małych prędkościach zasadniczą rolę odgrywa składnik drugi, natomiast przy dużych prędkościach składnik pierwszy.

Praca zaworka kulkowego jest możliwa, jeśli zostanie spełniony warunek:

$$R > G,$$

gdzie:

$R$  - uogólniony opór przepływu,

$G$  - ciężar kulki.

### 3.3.2. Zawór grzybkowy

Istotą tego rozwiązania zaworu PS jest również grzybek zawieszony na ruchomej iglicy. Rysunek 3b przedstawia zawór PS z rurką z sygnalizacją elektryczną położenia grzybka, natomiast rys. 3c przedstawia zawór z regulowaną nakrętką, wkładany do swego gniazda od zewnątrz bez rurki.

Przepływ powietrza powoduje tu również powstanie oporu a jednocześnie w zwężeniu szyjki powstanie podciśnienie.

Powstaje dodatkowa siła zamykania  $R_t$  i dociskająca grzybek do krawędzi płyty komory wg relacji:

$$R = R_p + R_t,$$

gdzie:

- $R_p$  - wyraża opory przednie,  
 $R_t$  - opory tylne, tzw. - rufowe.

Duże znaczenie posiada kształt części rufowej oraz długość opływowego elementu. Okazało się, że  $R_p$  ma charakter stały, natomiast  $R_r$  maleje wraz ze wzrostem długości /tworzy się obniżone ciśnienie za częścią rufową/ i uwzględnia powstanie podciśnienia za częścią rufową, a wartość tego składnika maleje ze wzrostem długości /grubości/ grzybka.

Opory przednie określa wyrażenie 2 :

$$R_p = \int D v^2 \sin^2 \alpha,$$

przy czym kąt jest tzw. kątem wpływu powietrza do zaworka /rys. 3c/.

Określenie siły  $R_t$  jest stosunkowo skomplikowane i najdogodniej określa się jej wartość doświadczalnie. Działanie tego zaworka jest również uzależniona warunkiem:

$$R > G.$$

#### 4. Wnioski

1. W referacie zidentyfikowano podstawowe parametry układu zawiesia podciśnieniowego i ich zależności. Zależności te stanowią podstawę do rozpoznania i projektowania urządzeń transportowych podciśnieniowych, w zakresie przepływów.
2. Dynamikę pracy układu zawiesia zabezpiecza określona proporcja objętości komory roboczej  $V_2$  do objętości zbiornika  $V_1$

$$q = 0,12 - 0,3.$$

3. Samosterowność i niezawodność działania układu zawiesia uzależniona jest przede wszystkim od geometrii, kształtu i masy zaworka pneumaticznego, skojarzonej z przewodnością układu.

4. Wykonane i pracujące od trzech lat w zakładzie przemysłowym zawiesie podciśnieniowe potwierdziło w pełni przydatność ustalonych związków i słuszność przyjętych rozwiązań.

#### LITERATURA

- [1] J.I.Marennij: Primenenie wakuumnych zachwatow w stroitielstwie. Promyszennoje Stroitielstwo nr 11, 1956.
- [2] N.S.Arżanikow, W.N.Malcew: Aerodamika, PWN, Warszawa 1959.
- [3] Heben und Fördern mit Vakuum auf dem Bau. Fördern und Heben 17 /1967/ Nr 3.
- [4] Vakuum: Saugnapfgreifer in der Fördertechnik. Fördern und Heben 18 /1968/ Nr 12.
- [5] Nowości z próżniowej techniki transportu. Deutsche Heben Fördertechnik 1973, t.19, Nr 4.
- [6] Groszkowski J.: Zagadnienia wysokich próżni. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 1968.
- [7] Groszkowski J.: Technika wysokich próżni, WNT, Warszawa 1972.

#### Р е з ю м е

В докладе оговаривается пневматический транспорт бетонных плит малой жёсткости с переменной перфорацией. В работе определено условия протекания воздуха между присосными камерами прицепного устройства, камерой декомпрессии и воздушным баком с обниженным давлением.

#### S u m m a r y

The paper relates to the problems connected with the vacuum transport of concrete plates of low rigidity and optionally variable perforation.

The paper determines the conditions of air flow between the suction cup chambers of the lifter, the decompression chamber and the air reservoir with reduced pressure.