CZASOPISMO TECHNICZNE M
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

z. 1-M/2008
ISSN 0011-4561
ISSN 1897-6328

KAZIMIERZ FURMANIK*, MICHAŁ PRĄCIK**

STANOWISKO DO BADANIA OPORÓW TARCIA W MODELU PRZENOŚNIKA ZGRZEBŁOWEGO RUROWEGO

STAND FOR TESTING OF FRICTION RESISTANCE IN A SCRAPER PIPE CONVEYOR MODEL

S t r e s z c z e n i e

W wewnątrzzakładowym transporcie materiałów drobno uziarnionych, sypkich lub pylistych, zwłaszcza aktywnych chemicznie i szkodliwych dla otoczenia, coraz częściej stosuje się przenośniki zgrzebłowe rurowe, których rynny zapewniają pyło-, wodo-, a nawet gazoszczelność, co ma istotne znaczenie nie tylko ze względów technologicznych, ale i ekologicznych. Racjonalne projektowanie takich przenośników wymaga znajomości oporów ich ruchu. W odróżnieniu od klasycznych przenośników zgrzebłowych, które mają rynny otwarte, w przenośnikach zgrzebłowych rurowych występują znacznie większe opory ruchu. Wobec braku metody obliczania tych oporów miarodajne mogą być wyniki badań doświadczalnych. W niniejszym artykule przedstawiono stanowisko, system pomiarowo-rejestrujący, metodę badania tych oporów, wybrane wyniki pomiarów oraz wynikajace z nich wnioski.

Słowa kluczowe: *tarcie*, *opory ruchu*, *przenośniki zgrzebłowe rurowe*

A b s t r a c t

In the bulk transportation of loose materials, especially active chemically and harmful for surroundings, he complies the scraper pipe conveyors tubular whose gutters assure more and more often dust-, the water- and even gas-proof, what has the essential meaning not only from technological regards, but and ecological. Rational projecting such conveyors requires the acquaintances of the resistances of their movement. Considerably larger resistances of the movement in scraper pipe conveyors tubular step out in the distinction from the classic scraper pipe conveyors which have open gutters. Reliable can be the results of experimental investigations in the face of the lack of the method of calculation of these resistances. The building of the investigate stand, control-recording system, the method of the investigation of these resistances, the chosen results of measurements and resulting from them conclusions were presented in the work.

Keywords: *friction*, *resistances to motion*, *scraper pipe conveyors*

* Dr hab. inż. Kazimierz Furmanik, Katedra Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Transportowych, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie.
** Dr inż. Michał Prącik, Instytut Mechaniki Stosowanej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1. Wstęp

Nowe uwarunkowania rynkowe zmuszają zakłady pracy do stosowania coraz bardziej przyjaznych środowisku człowieka maszyn i urządzeń – także transportowych. Dąży się do obniżenia kosztów ich produkcji i eksploatacji, a zwłaszcza energochłonności, m.in. przez obniżenie oporów ich ruchu. W transporcie materiałów drobno uziarnionych, sypkich i pylistych coraz szersze zastosowanie znajdują przenośniki zgrzebłowe rurowe (rys. 1) spełniające wymagania w zakresie ochrony środowiska i mające takie zalety, jak:

- możliwość transportowania materiałów (o temperaturze nawet do 700°C) w pełnej izolacji od otoczenia,
- prosta konstrukcja, zabudowa i obsługa,
- małe wymiary przekroju poprzecznego,
- łatwość konfigurowania tras o dużych krzywiznach w płaszczyźnie poziomej i pionowej,
- cicha praca,
- pyło-, wodo-, a nawet gazoszczelność.

Wadami tych przenośników są znacznie większe opory ruchu (opory tarcia) oraz zużycie ścierne rynien i zgrzebeł (zwłaszcza na trasach pionowych) niż w konwencjonalnych przenośnikach zgrzebłowych, które mają rynny otwarte [1–4]. Dotychczasowy stan wiedzy w zakresie racjonalnego projektowania takich przenośników jest niezadowalający, bowiem brakuje metody obliczania oporów ich ruchu.

Rys. 1. Elementy przenośnika zgrzebłowego rurowego [5]
Fig. 1. Elements of pipe scraper conveyor [5]

W artykule przedstawiono stanowisko do weryfikacji doświadczalnej tych oporów wyznaczonych na drodze teoretycznej [2], wybrane wyniki pomiarów oraz wynikające z nich wnioski końcowe.

2. Teoretyczne ujęcie oporów ruchu przenośnika zgrzebłowego rurowego

W artykule [2] przeprowadzono analizę teoretyczną oporów ruchu przenośnika zgrzebłowego rurowego, uzyskując następującą zależność na opory ruchu warstwy materiału znajdującego się między dwoma zgrzebłami wraz z nimi

$$w = \pi \frac{D^2 - d^2}{4} \gamma \cdot h \cdot (\mu \cos\alpha + \sin\alpha) \cdot e^{\frac{4\mu k D}{D^2 - d^2} h \cdot \mathrm{sgn}(\alpha - \alpha_{gr})} + q_l (\mu_l \cos\alpha + \sin\alpha)$$

gdzie:

D – średnica wewnętrzna rury [m],
d – średnica cięgna [m],
h – grubość warstwy materiału (zawartej między dwoma zgrzebłami) [m],
γ – ciężar usypowy materiału [N/m^3],

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

μ, μ_l – współczynniki tarcia, odpowiednio, materiału i zgrzebeł o rynnę,

$k = \mathrm{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$ – współczynnik charakteryzujący właściwości transportowanego materiału,

φ – kąt tarcia wewnętrznego materiału [°],

α – kąt nachylenia rynny względem poziomu, który należy uwzględnić ze znakiem + przy ruchu warstwy materiału w górę, – przy ruchu warstwy materiału w dół,

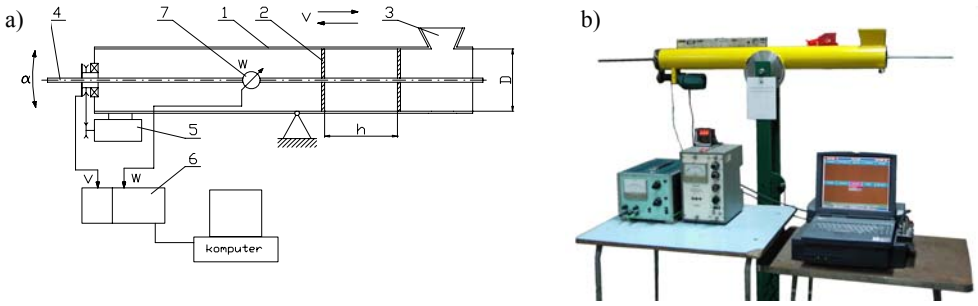
α_{gr} – kąt graniczny, przy którym $w = 0$.

Na podstawie zależności (1) sporządzono wykresy przedstawione na rys. 8–10.

3. Badania doświadczalne oporów ruchu przenośnika zgrzebłowego rurowego

Badania te przeprowadzono na stanowisku, którego schemat i widok przedstawiono na rys. 2. Wyróżniono badania:

- pomocnicze, w celu wyznaczenia wartości podstawowych wielkości charakteryzujących transportowany materiał (np. współczynnik tarcia zewnętrznego μ i kąta tarcia wewnętrznego φ), wykorzystując odpowiednie urządzenia (rys. 3 i 4),
- zasadnicze, w celu wyznaczenia wartości oporu ruchu w materiału (rys. 5 i 6).

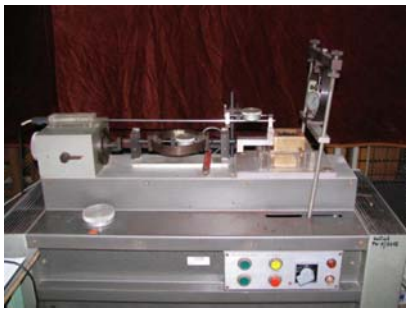


Rys. 2a) Schemat: 1 – rynna przenośnika, 2 – zgrzebło przenośnika, 3 – wsyp, 4 – cięgło śrubowe, 5 – napęd, b) widok stanowiska badawczego i układu pomiarowego
Fig. 2a) Scheme, b) the view of investigated system and instrumentation

Podczas pomiarów badana próbka, umieszczona w dwudzielnym urządzeniu (rys. 4), była równomiernie obciążona siłą normalną, a następnie ścinana ze stałą prędkością. Rejestrowane w czasie były: siła ścinająca P_τ [N] oraz przemieszczenie s [mm] (rys. 6 i 7). Przykładowe przebiegi sił przy wyznaczaniu wartości kątów tarcia wewnętrznego i zewnętrznego dla tlenku żelaza przedstawiono na rys. 5 i 6.

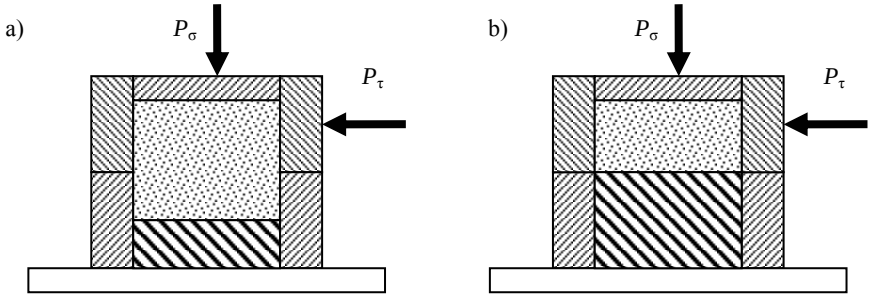
Wyznaczone dla tlenku żelaza wartości współczynników, które uwzględniono przy sporządzaniu rys. 8–10 wynosiły: $\mu = 0{,}578$; $\varphi = 47{,}24$ [°] [$k = \mathrm{tg}^2\,(1 - \frac{\varphi}{2}) = 0{,}153$].

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ



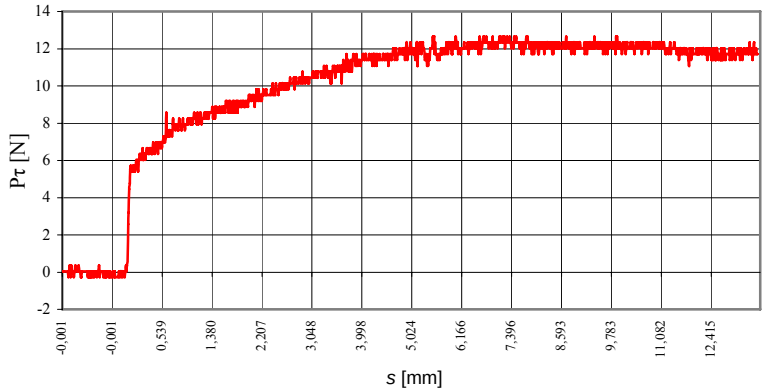
Rys. 3. Widok ogólny urządzenia do wyznaczania wartości współczynnika tarcia zewnętrznego μ i kąta tarcia wewnętrznego φ

Fig. 3. The general view of device to marking the value of the coefficient of friction external μ and the angle of the friction internal φ



Rys. 4. Schemat urządzenia pomiarowego do wyznaczania wartości współczynników tarcia: a) wewnętrznego, b) zewnętrznego

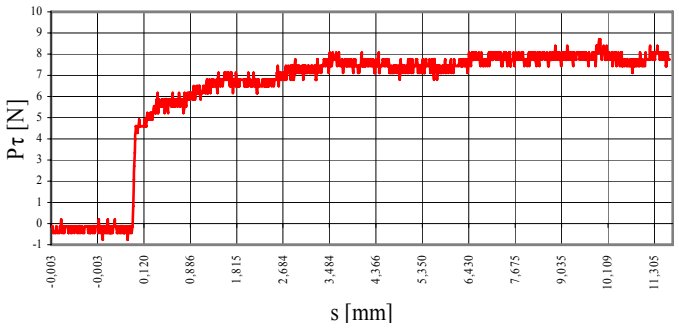
Fig. 4. Scheme of measuring device to estimation the value of the coefficients of the friction: a) internal, b) external



Rys. 5. Wykres z próby bezpośredniego ścinania warstwy tlenku żelaza przy wyznaczaniu wartości kąta tarcia wewnętrznego (P_σ = 7,985 [N]; prędkość ścinania warstwy 10 [mm/min])

Fig. 5. Graph from the test of direct cutting the layer of the oxide of the iron marking the value of the angle of the internal friction (P_σ = 7,985 [N]; speed of cutting the layer 10 [mm/min])

BPK BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ



Rys. 6. Wykres z próby bezpośredniego ścinania warstwy tlenku żelaza przy wyznaczaniu wartości kąta tarcia zewnętrznego

Fig. 6. Graph from the test of direct cutting the layer of the oxide of the iron marking the value of the angle of the external friction

W badaniach uwzględniono różne materiały, a w niniejszym artykule zaprezentowano przykładowo tylko wyniki dla tlenku żelaza. W ramach badań zasadniczych przeprowadzono na stanowisku badawczym (rys. 3) bezpośrednie pomiary oporu ruchu w z zastosowaniem czujnika tensometrycznego i prędkości ruchu cięgła v ze zgrzebłami – za pomocą czujnika optoelektronicznego. Przebieg pomiarów był następujący: po wypełnieniu materiałem przestrzeni pomiędzy zgrzebłami załączano napęd i przy zadanej wartości kąta nachylenia rynny α względem poziomu oraz prędkości ruchu zgrzebeł v rejestrowano sygnały pomiarowe oporu w i prędkości v przy założonym i nawrotnym kierunku ruchu zgrzebeł. Sygnały te po wzmocnieniu były rejestrowane na komputerze pomiarowym. Każdy pomiar był powtarzany trzykrotnie, a wyniki z tych pomiarów były następnie uśredniane.

Wielkościami zmiennymi w badaniach były:

- odległość między zgrzebłami h,
- prędkość transportowania v,
- rodzaj materiału transportowanego,
- kąt α nachylenia rynny względem poziomu.

Przyjęto następujące wartości odległości między zgrzebłami:

- $h = 1D = 0{,}1$ m,
- $h = 2D = 0{,}2$ m,
- $h = 3D = 0{,}3$ m,

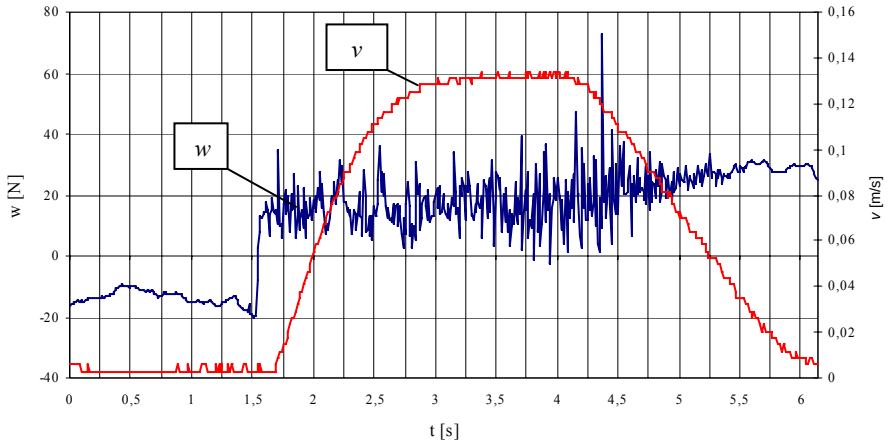
gdzie $D = 0{,}1$ m jest średnicą wewnętrzną rury.

W badaniach uwzględniono następujące wartości kąta nachylenia rynny względem poziomu:

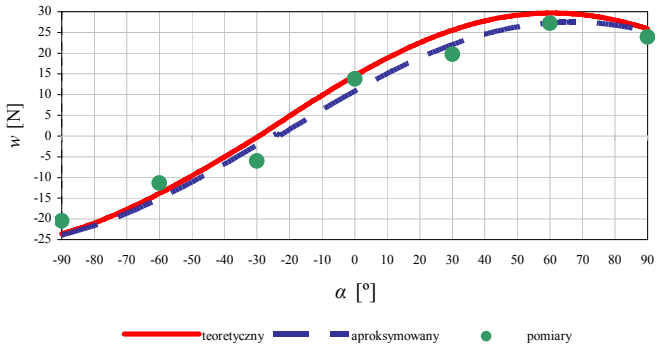
- $\alpha = 0^{\circ}$,
- $\alpha = \pm 30^{\circ}$,
- $\alpha = \pm 60^{\circ}$,
- $\alpha = \pm 90^{\circ}$,

gdzie: (+) – oznacza ruch warstwy materiału w górę,
(–) – ruch warstwy materiału w dół.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ



Rys. 7. Przykładowy przebieg siły oporu *w* i prędkości *v* w czasie
Fig. 7. The example course strength the resistance *w* and the speed *v* in the time



Rys. 8. Wykresy zależności $w(\alpha)$: z obliczeń i z doświadczeń przy $h = 1D$ ($R = 0{,}98688$)
Fig. 8. Graphs dependence $w(\alpha)$: from calculations and from experiences for $h = 1D$ ($R = 0{,}98688$)

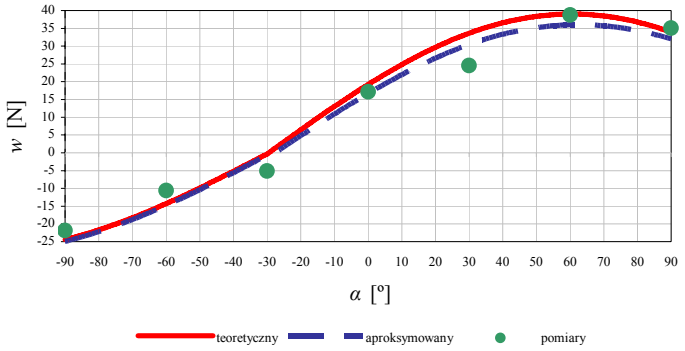
Konstrukcja stanowiska umożliwia zadawanie różnych prędkości ruchu zgrzebeł; przedstawione w artykule wyniki dotyczą prędkości $v_{śr} = 0{,}135$ m/s. Zmienną zależną w badaniach był opór ruchu *w*, a odcinek jego zapisu w czasie przykładowo przedstawiono na rys. 7.

Następnie uśredniano wartości oporu *w* dla tlenku żelaza i przedstawiono je na rys. 8–10 (gdzie: *R* – współczynnik korelacji).

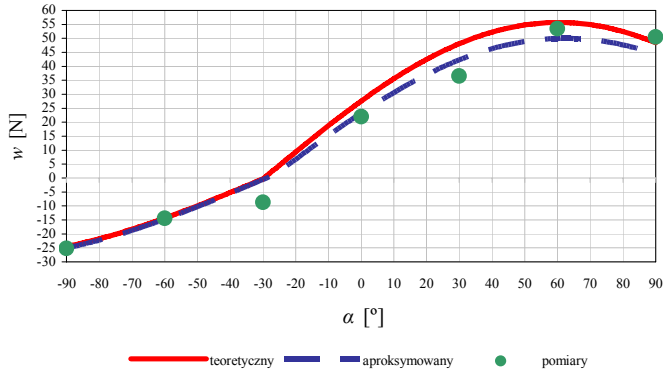
Uzyskane wyniki z obliczeń i z badań doświadczalnych wykazują dość dobrą zgodność, zarówno co do wartości, jak i charakteru zmian; potwierdzają także występowanie maksimum oporów *w* przy określonych wartościach kąta α, co wskazuje na poprawność opisu teoretycznego oporów ruchu *w*. Uwidaczniające się różnice ilościowe – powodowane nie

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

tylko błędami aproksymacji, lecz również wnoszonymi przez układ pomiarowy – nie są duże (ok. 10%). Uzyskane zależności teoretyczne mogą być podstawą dalszych analiz w celu wyznaczenia optymalnych wartości parametrów przenośników zgrzebłowych rurowych pracujących z minimalnymi oporami ruchu (niską energochłonnością).



Rys. 9. Wykresy zależności $w(\alpha)$: z obliczeń i z doświadczeń przy $h = 2D$ ($R = 0{,}98543$)
Fig. 9. Graphs dependence $w(\alpha)$: from calculations and from experiences for $h = 2D$ ($R = 0{,}98543$)



Rys. 10. Wykresy zależności $w(\alpha)$: z obliczeń i z doświadczeń przy $h = 3D$ ($R = 0{,}98686$)
Fig. 10. Graphs dependence $w(\alpha)$: from calculations and from experiences for $h = 3D$ ($R = 0{,}98686$)

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

4. Wnioski

Wyniki przeprowadzonych badań doświadczalnych pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1) opory ruchu przenośnika zgrzebłowego rurowego w sposób istotny zależą od jego parametrów konstrukcyjnych (D, d, h, q_l, μ_l, α), jak i własności transportowanego materiału (γ, k, μ),
2) odstęp h między zgrzebłami w przenośniku zgrzebłowym rurowym wpływa silniej (bo wykładniczo) na jego opory ruchu niż w przenośniku konwencjonalnym (wpływ liniowy); podobnie wpływają współczynniki μ i k,
3) zaproponowany opis teoretyczny oporów ruchu przenośnika zgrzebłowego rurowego potwierdzają wyniki przeprowadzonych badań doświadczalnych; będzie on wykorzystany do wyznaczenia takich wartości parametrów przenośnika, które zapewnią możliwie najmniejsze jego opory ruchu,
4) należy prowadzić dalsze badania teoretyczne i doświadczalne dla opracowania zadowalającej metody obliczania oporów ruchu tych przenośników.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006–2009 jako projekt badawczy.

Literatura

[1] Antoniak J., *Urządzenia i systemy transportu podziemnego w kopalniach*, Wydawnictwo „Śląsk", Katowice 1990.
[2] Furmanik K., *Problem of resistance to motion of scarper pipe conveyors*, ZEM z. 4(124), 2002, 9-26.
[3] Goździecki M., Świątkiewicz H., *Przenośniki*, WNT, Warszawa 1979.
[4] Krause F., Banse W., Schmolke S., Werner A., *Theoretische und Experimentalle Untersuchungen an Stauscheibenförderern (Rohrkettenförderern) Schüttgut 2/1999*, Trans Tech Publications Germany.
[5] Prospekt firmy SCHRAGE, Rohrkettensystem GmbH, D-26446 Friedeburg, Reiffeisenstraße 1.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ