

Alfred CARBOGNO, Daniel ADAMECKI
Politechnika Śląska, Gliwice

BADANIA WSPÓLCZYNNIKA TARCIA POMIĘDZY LINĄ STALOWĄ A WYKŁADZINĄ KOŁA PĘDNEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono krótkie podsumowanie badań współczynnika tarcia pomiędzy liną a wykładziną koła pędnego, jakie były prowadzone przez ostatnie 15 lat w Instytucie Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej. Przedstawiono model badań, stanowisko badawcze, materiały badanej pary cierniej lina–wykładzina oraz wyniki ciekawszych badań.

TESTS OF FRICTION COEFFICIENT BETWEEN STEEL ROPE AND KOEPE PULLEY LINING

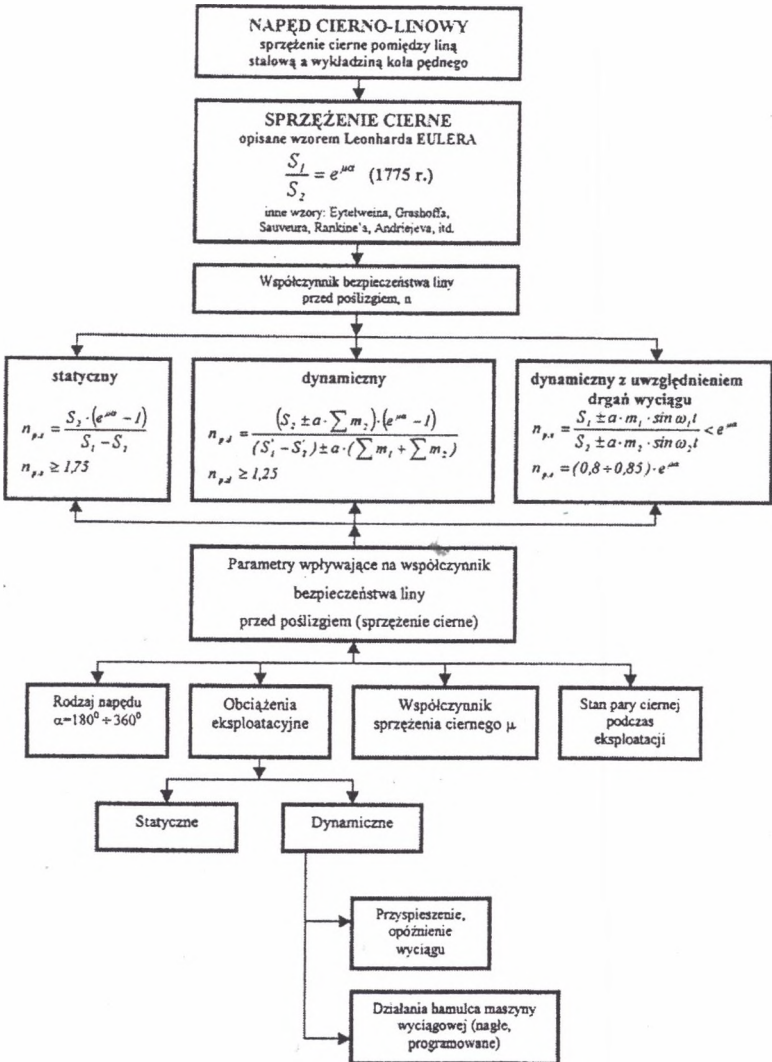
Summary. The article presents short summary of measurements of friction coefficient between steel rope and Koepe pulley lining, performed during the last 15 years in Mining Mechanization Institute of Silesian Technical University. The method of tests, testing stand, types of tested ropes and lining as well as results of the most interesting measurements are described in the article.

1. Wstęp

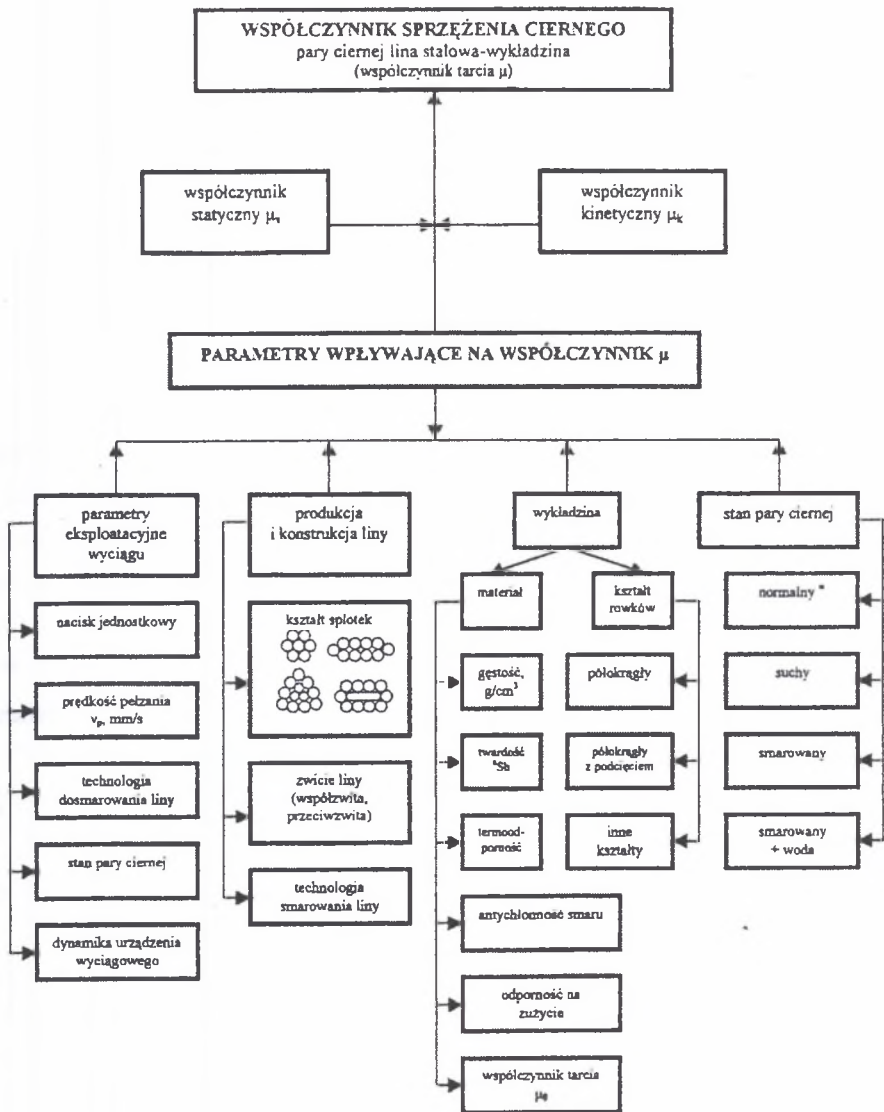
W górnictwie polskim około 90 % górniczych urządzeń wyciągowych stanowią urządzenia, w których zastosowano maszyny wyciągowe z napędem linowo-ciernym (tzw. koło Koepe). W napędach tych istnieje niebezpieczeństwo występowania poślizgu lin wyciągowych na wykładzinie koła lub bębna pędnego. Na sprzężenie ciernie pomiędzy liną a wykładziną koła pędnego w napędach ciernych ma wpływ wiele czynników, co schematycznie przedstawiono na rys. 1. Do określenia zasady działania napędu ciernio-linowego stosuje się znany wzór Eulera-Eytelweina lub inne podobne wzory różnych autorów. Jednym z bardzo istotnych parametrów tych wzorów jest współczynnik tarcia

μ pomiędzy liną stalową a wykładziną linopędni (koło lub bęben pędny). Współczynnik ten również określany jest w literaturze nazwą współczynnika sprzężenia ciernego (jest to właściwie współczynnik tarcia w parze cierniej lina stalowa–wykładzina). Sam współczynnik μ zależy od wielu parametrów, które przedstawiono na rys. 2.

W górniczych urządzeniach wyciągowych z napędem ciernym posługujemy się współczynnikiem pewności liny przed poślizgiem $n_{p,s}$ – statycznym, lub $n_{p,d}$ – dynamicznym. W obu tych definicjach zawarty jest współczynnik tarcia μ (rys. 1).



Rys. 1. Wpływ różnych czynników na sprzężenie cierne w napędach cierno-linowych
Fig. 1. Influence of difficult factors on frictional contact in friction drive with steel rope



Rys. 2. Parametry wpływające na współczynnik sprężenia ciernego μ pomiędzy liną stalową a wykładziną koła pędnego: * - stan normalny (lina i wykładzina dostarczone przez kopalnię)

Fig. 2. Parameters that influence on friction coefficient μ between steel rope and Koepe pulley lining. * - normal condition (steel rope and lining pulley delivered by coal-mine)

W praktyce współczynnik pewności liny przed poślizgiem n wyrażany jest poprzez tzw. krytyczne i dopuszczalne przyspieszenia i opóźnienia działania maszyny wyciągowej (tzw.

nastawy hamulców), których odpowiedni dobór eliminuje możliwość powstania poślizgu lin nośnych. Współczynnik tarcia μ wyznacza się w badaniach laboratoryjnych. Również określa się go podczas eksploatacji wyciągów. W artykule przedstawiono skrót badań laboratoryjnych współczynnika μ , jakie od przeszło 15 lat prowadzone są w Instytucie Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej (IMG Pol. Śl.) [1–12].

2. Współczynnik tarcia

Z przeprowadzonych rozważań wynika, że w sprzężeniu ciernym mamy do czynienia przynajmniej z dwoma pojęciami współczynnika tarcia, tj. współczynnik tarcia statycznego i kinetycznego. W rzeczywistości możemy wyróżnić znacznie więcej rodzajów współczynników tarcia. Z uwagi na względny stan pary ciernej lina stalowa–wykładzina: stan spoczynku, stan ruchu i warunków, z powodu których taki stan powstaje możemy wyróżnić:

- statyczny współczynnik tarcia μ_s ,
- eksploatacyjny czyli kinetyczny współczynnik oporu (tarcia) przeciw względnemu ruchowi liny po wykładzinie μ_k (dalej oznaczonego jako μ bez indeksu),
- graniczny współczynnik oporu (tarcia) przeciw względnemu ruchowi liny po wykładzinie μ_g ,
- dynamiczny współczynnik oporu (tarcia) przeciw względnemu ruchowi liny po wykładzinie μ_d .

Stacyjny współczynnik tarcia μ_s jest charakterystyczny dla stanu spokoju urządzenia wyciągowego (wyciąg nie pracuje), kiedy lina i wykładzina są w absolutnym spokoju. Jest on wynikiem spokojnego stanu obu elementów pary ciernej, czyli liny i wykładziny. Wielkość tego współczynnika praktycznie nie ma znaczenia dla sprzężenia ciernego. Można ją sprawdzić jedynie w porównaniu ze współczynnikiem eksploatacyjnym, czyli kinetycznym μ_k . Na jej podstawie możemy sądzić, do jakiej miary przeniesienie siły obwodowej jest zabezpieczone statycznie, a do jakiej miary mechanicznie.

Kinetyczny współczynnik tarcia μ_k jest charakterystyczny dla normalnego eksploatacyjnego stanu pracy urządzenia wyciągowego, kiedy lina i wykładzina koła pędnego jest we „względny spokój” (bezruchu). Ten wzajemny „pozornie spokojny” stan jest

wynikiem wspólnego ruchu liny i wykładziny (poślizgu sprężystego pomiędzy liną a wykładziną, zwanego również mianem pełzania liny) określonego przez prędkość eksploatacyjną wyciągu. Wartość tego współczynnika zależy od nominalnej wielkości prędkości eksploatacyjnej wyciągu oraz od prędkości pełzania (poślizgu sprężystego) liny po wykładzinie. Dla bezpiecznej pracy urządzenia wyciągowego z kołem pędnym ten współczynnik ma decydujące znaczenie.

Graniczny współczynnik tarcia μ_g jest charakterystyczny dla warunków pracy, jakie powstają na granicy poślizgu sprężystego liny po wykładzinie, tzn. w momencie przejścia pozornie względnego stanu spokoju pary ciernej lina–wykładzina do stanu względnego ruchu liny po wykładzinie na całym łuku opasania (kącie opasania) koła przez linę (początek poślizgu niesprężystego). O tej wielkości współczynnika tarcia brak jest szerszych informacji. O jego znaczeniu nie można wątpić, ponieważ charakteryzuje on warunki powstawania niepożądanego lub awaryjnego stanu pracy urządzenia wyciągowego – początek niesprężystego poślizgu liny, który może doprowadzić do katastrofy w szybie.

Dynamiczny współczynnik tarcia μ_d jest charakterystyczny dla warunków, jakie powstają już po wystąpieniu stanu awaryjnego – poślizgu niesprężystego, podczas którego pomiędzy liną a wykładziną występuje duża względna prędkość (stała lub wzrastająca).

W przypadku sprzężenia ciernego pomiędzy liną a wykładziną zachodzą procesy bardziej złożone z punktu widzenia współpracy dwóch ciał niż w przypadku prostego tarcia, dlatego bardziej prawidłowo byłoby stosować termin „współczynnik oporu” lub „współczynnik sprzężenia ciernego” niż współczynnik tarcia. Z uwagi jednak na powszechne używanie w literaturze polskiej i przepisach górniczych określenia „współczynnik tarcia wykładziny” nazwę tę zachowano w artykule.

W dalszej części referatu używa się określenia współczynnika tarcia μ rozumianego jako współczynnika kinetycznego.

3. Przyjęcie modelu badań współczynnika tarcia

Przy projektowaniu stanowiska pomiarowego uwzględniono wszystkie ważniejsze czynniki wpływające na wielkość współczynnika tarcia, a także zasady modelowania wpływu tych czynników w warunkach laboratoryjnych. Podstawowym warunkiem modelowania jest zapewnienie ekwiwalentności (proporcjonalności) pomiędzy modelem a warunkami

rzeczywistymi, występującymi podczas eksploatacji urządzenia wyciągowego w zakresie parametrów geometrycznych i mechanicznych, w których należy uwzględnić prędkość i przyspieszenie (proporcjonalność kinematyczna) oraz rozkład sił (proporcjonalność dynamiczna). Występująca w sprzężeniu ciernym wielkość współczynnika tarcia podczas poślizgu sprężystego liny po wykładzinie koła pędnego jest funkcją całego szeregu parametrów:

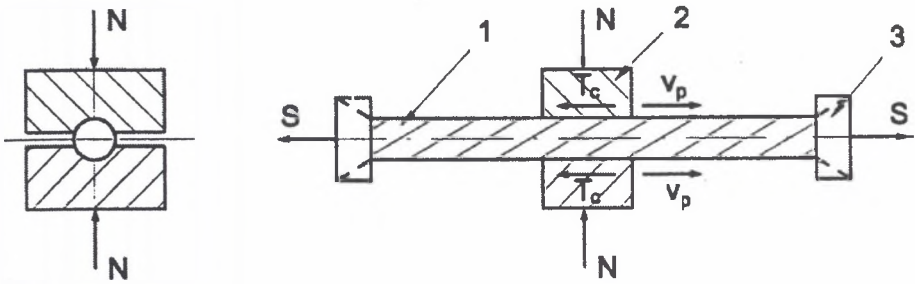
$$\mu = f(S, D_p, E_l, E_w, p, v_p, a_p, k_k, k_d, T, t, \psi) \quad (1)$$

gdzie:

- S – siła rozciągająca w linie w dowolnym punkcie łuku opasania koła przez linę,
- D_p – średnica koła pędnego,
- E_l, E_w – moduł sprężystości liny i wykładziny koła pędnego,
- v_p, a_p – prędkość poślizgu sprężystego i przyspieszenie między liną a wykładziną,
- k_k – stosunek pomiędzy rzeczywistą a obliczeniową powierzchnią styku liny z wykładziną (konstrukcja liny),
- k_d – współczynnik dynamicznej plastyczności materiału wykładziny,
- p – nacisk jednostkowy liny na wykładzinę,
- T – temperatura,
- t – czas,
- ψ – współczynnik uwzględniający jakość i stan materiału wykładziny w płaszczyźnie styku z liną oraz jakość i ilość smaru na linie i wpływ otaczającego środowiska (suche, mokre itp.).

Wykonanie idealnego modelu, który uwzględniłby w pełni wszystkie warunki rzeczywiste jest technicznie niemożliwe. Jednak zapewnienie w modelu warunków proporcjonalności większej części zmiennych parametrów rzeczywistych z punktu widzenia ekonomicznego (koszty budowy stanowiska) jest w pełni realne. Problem zawiera się w tym, aby wybrać dla modelu tylko te parametry, które mają istotny wpływ i których zamodelowanie można osiągnąć z wysokim stopniem wiarygodności. Do tych parametrów zaliczyć możemy: właściwości materiału wykładziny, kształt rowka wykładziny, jakość i ilość smaru, charakter otaczającego środowiska (temperatura, wilgotność, zapylenie, itp.), naciski jednostkowe liny na wykładzinę i prędkość poślizgu sprężystego liny na wykładzinie. Zamodelowanie wpływu dwu ostatnich czynników jest najbardziej złożone.

Ostatecznie do badań współczynnika tarcia μ przyjęto model przedstawiony na rys. 3, w którym bloki wykładzin przesuwane są po rozciąganej z określoną siłą linie.



Rys. 3. Model współpracy liny i wykładziny przyjęty do badań laboratoryjnych:
1 – lina, 2 – bloki wykładziny, 3 – tuleje stożkowe

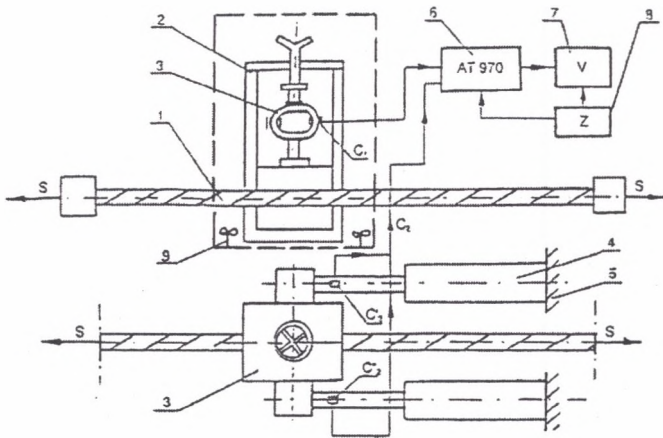
Fig. 3. Mating model of rope and lining for laboratory testing: 1–steel rope, 2–lining, 3–socketed sleeves

4. Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze składa się z następujących zasadniczych elementów:

- poziomej 800 kN zrywarki do lin,
- urządzenia ściskającego szczęki z wykładzinami USW,
- cylindrów hydraulicznych przesuwających urządzenie ściskające szczęki USW,
- przyrządów pomiarowych mechanicznych i aparatury pomiarowo – rejestrującej,
- napędu hydraulicznego przesuwu urządzenia USW.

Bloki wykładzin dociskane są do liny za pomocą siłomierza pałkowego (rys. 4). Zarówno na siłomierzu, jak i na tłoczykach cylindrów hydraulicznych przesuwających szczęki z wykładzinami, naklejono tensometry elektrooporowe. W przypadku badań przeprowadzanych w temperaturze powierzchni liny $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ środkowa część stanowiska pomiarowego (rys. 4) umieszczona była w komorze, w której znajdowały się dwie nagrzewnice.



Rys. 4. Schemat stanowiska badawczego i układu pomiarowo-rejestrującego: 1 – lina, 2 – urządzenie ściskające bloki wykładzin, 3 – siłomierz pałkowy, 4 – cylindry hydrauliczne, 5 – obudowa zrywarki, 6 – mostek tensometryczny, 7 – rejestrator, 8 – zasilanie, 9 – komora cieplna z nagrzewnicami, C1, C2 (C'2 i C''2) – czujniki tensometryczne elektrooporowe

Fig. 4. Diagram of testing stand and measurement – registered system: 1-steel rope, 2-attachment compressing lining block, 3-dynamometer, 4-hydraulic cylinders, 5-frame of tensile testing machine, 6-measuring bridge, 7-recorder, 8-power supply, 9-thermal chamber with heating, C1, C2 (C'2 and C''2) – strain gauge

5. Materiały użyte do badań

Do badań współczynnika tarcia pary cierniej lina stalowa – wykładzina koła pędnego stosowano:

- różne konstrukcje lin stalowych stosowanych jako liny nośne w górniczych urządzeniach wyciągowych,
- wykładziny ciernie różnych producentów,
- różne smary stosowane do lin nośnych wyciągów ciernych,
- materiały sypkie stosowane do osuszania powierzchni liny nośnej podczas eksploatacji z nadmiaru smaru.

Konstrukcje nośnych lin wyciągowych:

Badania współczynnika tarcia przeprowadzono głównie na zlecenie kopalń po wystąpieniu przypadków poślizgów lin podczas eksploatacji wyciągów ciernych lub podczas okresowych badań dynamicznych układów hamulcowych maszyn wyciągowych. Do badań używano oryginalnych konstrukcji lin nośnych stosowanych przez kopalnie a mianowicie liny:

- trójkątnospłotkowe, współzwite o średnicy 36–62 mm (badania przeprowadzano na odcinkach lin stosowanych przez kopalnie, na których występowały poślizgi, były to odcinki lin pozostałe po założeniu liny),
- okrągłosplotkowe, współ lub przeciwwzite konstrukcji Warrington-Seale o średnicach 46, 52 mm stosowane przez zleceniodawcę,
- okrągłosplotkowe konstrukcji Warrington-Kryty o średnicach 56 mm stosowane przez zleceniodawcę.

Badania przeprowadzano również na zlecenie firm produkujących wykładziny, nośne liny wyciągowe oraz smary do lin wyciągów ciemnych.

Z uwagi na popularne stosowanie do niedawna w polskich górniczych urządzeniach wyciągowych lin nośnych konstrukcji współzwitej w większości badań stosowano linę okrągłosplotkową współzwitą konstrukcji WS o średnicy 46 mm jako linę badawczą.

Zastosowane wykładziny kół pędnych:

Badania prowadzono dla wykładzin kół pędnych wykonanych z następujących materiałów:

- wykładziny drewniane,
- wykładziny skórzane,
- wykładziny z taśm przenośnikowych,
- wykładziny gumowe,
- wykładziny mieszane (drewno + taśma, drewno + skóra, drewno + taśma + skóra, tworzywo sztuczne + taśma przenośnikowa, Modar R3 + taśma przenośnikowa),
- wykładziny z tworzyw sztucznych:
 - Modar R3, Modar R3/M₂ – produkcji polskiej,
 - V1-714 i V2-714 – produkcji czeskiej,
 - PP45 – produkcji rosyjskiej,
 - Becorit K22, K25 – produkcji niemieckiej,
 - Tekaplast żółty 848 i Tekaplast SU913 – produkcji niemieckiej.

Stosowane smary do lin:

Podczas badań do nasmarowania powierzchni liny używano różnych smarów, w tym smarów niemieckich Elaskon II, Elaskon II Star, Elaskon III Star LM, smarów Nyrosten N113 i Nyrosten N113-FS oraz polski smar LWKP.

Materiały sypkie:

W górnictwie polskim do osuszania powierzchni liny z nadmiaru smaru lub podczas wystąpienia poślizgu liny stosuje się do podsypywania liny kalafonię, pył kamienny, cement, diatomit lub proszek Florideal do pudrowania liny oraz trociny. Na zlecenia kopalń badania tarcia przeprowadzono tylko przy użyciu cementu i diatomitu.

6. Parametry badań

Początkowo badania współczynnika tarcia w latach 60. i 70. prowadzono według własnej metodyki opracowanej w IMG Pol. Śl. Z chwilą zapoznania się z jedynymi normami europejskimi określającymi podstawowe zasady badań współczynnika tarcia liny z wykładziną, a więc normą niemiecką z 1967 r. oraz czeską z 1974 r., badania zaczęto prowadzić według wytycznych tych norm. Normy te zostały wydane po raz drugi z pewnymi uzupełnieniami, w roku 1986 norma niemiecka [13] oraz w roku 1988 norma czeska [14]. Te normy przyjęto za podstawę badań współczynnika pomiędzy liną stalową koła pędnego. Podstawowe parametry badań były następujące:

1. Konstrukcje lin dowolne (dostarczane przez kopalnie): liny trójkątnospłotkowe i okrągłospłotkowe o średnicach 36–62 mm, współ- lub przeciwwzite. Podstawową konstrukcją liny badawczej była lina WS o średnicy 46 mm, współzwita (badania prowadzono głównie na linach współzwitych z uwagi na powszechne stosowanie lin współzwitych jako lin nośnych w górnictwie polskim, dopiero od niedawna coraz szerzej stosowane są liny okrągłospłotkowe przeciwwzite, szczególnie w szybach głębokich),
2. Siła rozciągająca linę w stanowisku badawczym odpowiadała współczynnikowi bezpieczeństwa liny na zerwanie $n=7$,
3. Długość bloku wykładziny wynosiła 200 mm,
4. Nacisk liny na wykładzinę wynosił $p=1,2-3,0$ MPa,
5. Prędkość poślizgu szczęk z wykładzinami po linie wynosiła $v_p=3-15$ mm/s, badania najczęściej prowadzono przy prędkości 15 mm/s,
6. Zgodnie z normami na powierzchni liny powinno znajdować się smaru nie więcej niż 75 g/m^2 powierzchni liny. Wymienioną ilość smaru każdorazowo przeliczano na powierzchnię badanej konstrukcji liny. Przykładowo dla liny $\phi 46$ mm na jednym metrze długości nie powinno być więcej jak 16 g/m. Badania prowadzono również przy innych

ilościach smaru, np. 25, 40, 60 g/m długości liny. Do badań porcje smaru były ważone a potem nanoszone na linę w stanie płynnym za pomocą pędzla. Wcześniejsze badania prowadzono bez ważenia ilości smaru nanoszonego na linę badawczą za pomocą pędzla, biorąc za wzór ilość smaru znajdującego się na powierzchni lin, na których występowały poślizgi lin,

7. Czas schnięcia smaru do momentu rozpoczęcia badań wynosił od 1 do 16 h (wg życzeń zlecniodawcy, najczęściej po 1–2 h),
8. Badania lin nasmarowanych przeprowadzono w temperaturze otoczenia około 20 °C i 30 °C w komorze ciepłej zgodnie z normą DIN 21258.

Badano następujące stany pary ciernej lina stalowa–wykładzina koła pędnego:

- a) stan normalny – przez ten stan rozumie się stan odcinka liny przywieszanej przez zlecniodawcę (na linie znajdowały się różne ilości smaru o różnej konsystencji: twardy, miękki, płynny) oraz oryginalne wykładziny zdjęte z koła pędnego,
- b) stan suchy – lina stalowa i wykładzina były oczyszczone i umyte,
- c) stan mokry – lina stalowa sucha i wykładzina sucha były polewane podczas badań wodą (wcześniej wykładziny pozostawiono w wiadrze z wodą),
- d) stan smarowany – na suchą linę nakładano odpowiednią ilość zważonego smaru,
- e) stan liny smarowanej z wodą – podczas badań lina nasmarowana była polewana wodą.

W przypadku badań pary ciernej o stanie b, c, d, e – odcinek liny oraz wykładzina każdorazowo po wykonanej próbie były czyszczone, a smar nakładano od nowa.

W stosowanych podczas badań wykładzinach (dostarczonych przez zlecniodawcę) przetaczano rowki wykładzin tak, aby uzyskać kąt opasania $\varphi=120^\circ$.

7. Wyniki badań

Zgodnie z wymogami norm, każdy pomiar powtarzany był minimum sześciokrotnie i jako wartość ostateczną przyjmowano wartość średnią współczynnika tarcia z pięciu pomiarów (po odrzuceniu wyniku pierwszego pomiaru). Nacisk liny na wykładzinę obliczono według wzoru norm [13,14].

Podczas badań rejestrowano siłę docisku N , za pomocą legalizowanego siłomierza pałkowego z naklejonymi tensometrami elektrooporowymi i siłę tarcia T za pomocą

tensometrów naklejonych na głowicach tłoczyska cylindrów hydraulicznych i odpowiednio wyskalowanego woltomierza cyfrowego lub rejestratora.

W niniejszym artykule przedstawiono tylko ciekawsze wyniki badań współczynnika tarcia, dotyczące szczególnie smarów Nyrosten N113, Elaskon II Star i Elaskon III Star LM. Wyniki badań przedstawiono w tablicach 1 i 2.

Tablica 1

Zestawienie wartości średnich współczynnika tarcia μ_{sr} pomiędzy liną WS ϕ 46 mm współzwitą dosmarowaną smarem Elaskon III Star LM w ilości 16 g/m długości liny dla różnych wariantów dosmarowania i z różnymi wykładzinami. Nacisk jednostkowy $p = 2$ MPa, prędkość poślizgu $v_p = 15$ mm/s. Badania po 2 godz. od dosmarowania liny

Lp	Wykładzina	Wariant I sam smar Elaskon III Star LM		Wariant IIa LWKP+Elaskon III Star LM		Wariant IIb Nyrosten N113+Elaskon III Star LM	
		20 °C	30 °C	20 °C	30 °C	20 °C	30 °C
1	Modar R3	0,34	0,28	0,29	0,25	0,29	0,25
2	Becorit K25	0,32	0,27	0,28	0,24	0,28	0,25
3	Becorit K22	0,27	0,23	0,24	0,22	0,25	0,22
4	Tekaplast żółty 848	0,26	0,23	0,23	0,21	0,22	0,20
5	WT3 taśma przenośnikowa	0,21	0,20	0,19	0,18	0,21	0,19

Tablica 2

Wyniki badań współczynnika tarcia μ pomiędzy liną stalową WS ϕ 46 mm współzwitą a wykładziną MODAR R-3/Mz. Nacisk jednostkowy $p = 2$ MPa. Badania po 2 godz. od nasmarowania liny. Oczyszczona lina nasmarowana smarem ELASKON III Star LM w ilości 16 g/m. Współczynnik tarcia μ - zakres, μ_{sr} - wartość średnia

Lp.	$T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$		$T=30\text{ }^{\circ}\text{C}$	
	μ	μ_{sr}	μ	μ_{sr}
1	0,28–0,32	0,30	0,24–0,26	0,25
2	0,28–0,33	0,31	0,22–0,24	0,23
3	0,26–0,29	0,28	0,23–0,25	0,24
4	0,27–0,31	0,29	0,22–0,24	0,23
5	0,27–0,31	0,29	0,23–0,26	0,245
6	0,28–0,31	0,295	0,22–0,25	0,235
7	0,27–0,30	0,285	0,22–0,24	0,23
		$\mu_{sr} = 0,30$	$\mu_{sr} = 0,24$	

8. Wnioski

1. W przypadku nasmarowania lin smarem Elaskon II Star wszystkie badane wykładziny spełniały odpowiednie wymogi zaleceń krajowych. Przy nacisku 2 MPa i temperaturze

- powierzchni liny 20 °C oraz ilości smaru na lienie do 25 g/m współczynnik tarcia μ_s dla wykładzin Modar R-3, Modar R-3/M_z, Becorit K25, Becorit K22, Tekaplast żółty 848 i WT3 z taśmy przenośnikowej jest większy od 0,3 a przy 30 °C jest większy od 0,25.
2. Dla smaru Elaskon II Star najkorzystniejsze wyniki badań otrzymano dla wykładzin Modar R-3, Modar R-3/M_z i Becorit K25. Dla pozostałych wykładzin Becorit K22, Tekaplast żółty 848 i WT3 z taśmy przenośnikowej praktycznie wartości współczynnika tarcia μ_s są te same.
 3. Z przeprowadzonych badań wynika, że najkorzystniejsze wartości współczynników tarcia otrzymano w przypadku dosmarowania lin smarem Elaskon III Star LM w porównaniu z przypadkami mieszania tego smaru z innymi smarami, np. LWKP czy Nyrosten N113.
 4. Wymagania normy DIN 21258 (przy $T=30$ °C, $\mu_s \geq 0,22$ spełniają pary cierne lina–wykładzina dla wykładzin (nacisk jednostkowy $p = 2$ MPa)):

– Modar R-3	– przy $T = 20$ °C, $\mu_s = 0,34$, przy $T = 30$ °C, $\mu_s = 0,28$
– Modar R-3/M _z	– przy $T = 20$ °C, $\mu_s = 0,31$, przy $T = 30$ °C, $\mu_s = 0,24$
– Becorit K25	– przy $T = 20$ °C, $\mu_s = 0,32$, przy $T = 30$ °C, $\mu_s = 0,27$
– Becorit K22	– przy $T = 20$ °C, $\mu_s = 0,27$, przy $T = 30$ °C, $\mu_s = 0,23$
– Tekaplast żółty 848	– przy $T = 20$ °C, $\mu_s = 0,27$, przy $T = 30$ °C, $\mu_s = 0,23$
 5. Powyższe wartości współczynników tarcia otrzymano przy zastosowaniu ilości smaru na linie 75 g/m² zgodnie z wymaganiami norm oraz technologią dosmarowania lin. Należy zaznaczyć, że ilość smaru na linie ma jeden z decydujących wpływów na obniżenie współczynnika tarcia, co wykazano zarówno w badaniach krajowych jak i zagranicznych. Przestrzeganie, więc technologii smarowania lin podczas produkcji, jak i ich dosmarowania podczas eksploatacji opracowanych przez producentów smarów, jest warunkiem niezbędnym do bezpiecznej eksploatacji lin w wyciągach ciernych.
 6. Przedstawione wyniki dotyczą badań przeprowadzonych po 1÷2 godz. od nasmarowania liny. Badania przeprowadzone po 10 godz. i więcej wykazały większe wartości współczynników tarcia. Z powyższego wynika, że podawany w technologii dosmarowania lin podczas eksploatacji przez różnych producentów smarów czas schnięcia minimum 2 godz. należałoby zwiększyć przynajmniej na 6–8 godz.

LITERATURA

1. Antoniuk J., Carbogno A., Jankowski A.: Badania wpływu rodzaju smaru i temperatury na współczynnik tarcia między liną stalową a wykładziną koła pędnego. II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna pt. „Modernizacja urządzeń wyciągowych. Niezawodność i Bezpieczeństwo.” Politechnika Śląska. Gliwice – Rudy Raciborskie 18-20.10.1995.
2. Carbogno A.: Badania współczynnika tarcia wykładzin z taśm przenośnikowych. Bezpieczeństwo pracy i ochrona środowiska w górnictwie, 1993 nr 2 (6).
3. Carbogno A.: Badania współczynnika tarcia wykładzin kół pędnych. Praca NB-3/RG-2/93. Instytut Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej, Gliwice, styczeń 1993.
4. Carbogno A.: Badania współczynnika tarcia pomiędzy liną stalową dosmarowaną smarem Elaskon III Star LM a różnymi wykładzinami. Praca NB-47/RG-2/96. Instytut Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej, Gliwice, luty 1996.
5. Carbogno A.: Badania współczynnika tarcia pomiędzy liną stalową nasmarowaną smarem Elaskon II Star a różnymi wykładzinami. Praca NB-98/RG-2/95. Instytut Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej, Gliwice 1995.
6. Carbogno A.: Badania współczynnika tarcia wykładziny Tekaplast 848 współpracującej z liną wyciągową smarowaną. Praca NB-142/RG-2/94. Instytut Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej, Gliwice lipiec 1994.
7. Carbogno A.: Badania wpływu rodzaju smaru i temperatury na współczynnik tarcia między liną stalową a wykładziną koła pędnego. Praca BW-434/RG-2/95/T-3. Instytut Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej, Gliwice, grudzień 1995.
8. Carbogno A., Jankowski A.: Badania wpływu materiałów sypkich na sprzężenie cierne pomiędzy liną a wykładziną koła pędnego. Praca BW-404/RG-2/97/T-2. Instytut Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej, Gliwice, grudzień 1997.
9. Carbogno A.: Badania współczynnika tarcia pomiędzy różnymi wykładzinami a liną stalową nasmarowaną smarami Elaskon. Międzynarodowe Seminarium pt. Stan techniki w zakresie ochrony antykorozyjnej i smarowania lin stalowych. Firma Elaskon Sachsen GmbH&Co.kG Germany. Zabrze 29.03.2001, Polska.
10. Carbogno A.: Badania współczynnika tarcia pomiędzy liną nośną $\Phi 50\text{mm}$ WS6x36+FE a wykładziną Modar R3/Mz zastosowaną w KWK „Bogdanka”. Praca NB-8/RG-2/99. Gliwice, marzec 1999.
11. Carbogno A.: Badania współczynnika tarcia pomiędzy liną stalową nasmarowaną smarem Elaskon II Star a wykładziną Modar R3. Praca NB-183/RG-2/97. Instytut Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej. Gliwice, grudzień 1997.
12. Carbogno A.: Badania współczynnika tarcia pomiędzy liną stalową trójkątnospłotkową $\Phi 36\text{mm}$ a wykładziną Modar R3. Praca NB-95/RG-2/97. Instytut Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej. Gliwice, marzec 1997.
13. Norma DIN 21258. Konservierungsstoffe für Treibscheiben – Förderseile im Bergbau. Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung. April 1986.
14. Norma ON 445207. Stanovení součinitele unášivosti třecích kotoučů těžních strojů. 16.09.1988 (Czechy).