

Alfred CARBOGNO, Marcel ŻOŁNIERZ
Politechnika Śląska, Gliwice

BADANIA MOMENTU ODKRĘTNEGO LIN WYCIĄGOWYCH

Streszczenie. Następstwem śrubowego zwicia drutów w linie oraz technologii jej wykonania jest moment odkrętny występujący przy jej obciążeniu. Znajomość wielkości momentu odkrętnego lin nośnych jest szczególnie ważna przy projektowaniu wyciągów szybowych z linowym prowadzeniem naczyń wydobywczych, ponieważ może on doprowadzić do ich wzajemnego skręcenia. Dowodem tego były przypadki z krajowej praktyki górniczej. Podano metody i wyniki badań momentu odkrętnego lin nośnych wyciągowych różnych konstrukcji prowadzonych w Instytucie Mechanizacji Górnictwa.

INVESTIGATION OF HOISTING ROPE TURNING-OFF MOMENT

Summary. The turn-off moment appearing when the rope is loaded is a result of helical coiling of wires in a rope as well as technology of their production. Knowledge of the magnitude of the hoisting rope turn-off moment is especially important when a shaft hoist provided with extraction vessels hoisted by means of ropes is designed. That is because it may be the cause of their mutual torsion. Such cases have been known from experience in mining activities. The article presents methods and results of tests carried out on hoisting ropes of different types by the Mining Mechanisation Institute.

1. Wprowadzenie

Podczas produkcji lin stalowych powstaje w nich technologiczny moment skręcający. Wielkość momentu technologicznego zależy przede wszystkim od rodzaju materiałów drutów i jego obróbki plastycznej, od średnicy drutów, technologii kształtowania splotek okrągłych, trójkątnych czy owalnych oraz od konstrukcji liny i jej średnicy, a nie zależy od obciążenia liny podczas jej eksploatacji. Natomiast podczas eksploatacji liny wyciągowej pod wpływem obciążenia w śrubowo zwitej linie stalowej powstaje moment odkrętny dążący do jej rozkręcenia. Jest to tak zwany moment konstrukcyjny. Moment technologiczny dodaje się do

momentu konstrukcyjnego. Uważa się jednak, że zastosowanie podczas produkcji lin stalowych odpowiednich technologii odprężania lin, np. metodą Tru-Lay i Pavo, eliminuje całkowicie lub w znacznym stopniu moment technologiczny. W praktyce mamy więc do czynienia z konstrukcyjnym momentem okrętym lin.

W górniczych urządzeniach wyciągowych znajomość momentu odkrętnego lin wyciągowych niezbędna jest do:

- określenia wpływu konstrukcji liny nośnej na zjawisko skręcania układu przewodników linowych naczyń wyciągowych w szybie,
- oceny kręcenia się podczas eksploatacji różnych konstrukcji lin nośnych w szybie,
- określenia tzw. długości krytycznej dynamicznej lin wyrównawczych i oceny ich kręcenia się w szybie, co związane jest z przypadkami spętnienia się gałęzi lin wyrównawczych w rzepiu szybu.

Moment okrętny liny wyciągowej można obliczyć teoretycznie lub wyznaczyć doświadczalnie na stanowisku badawczym. Z uwagi na nieuwzględnienie w obliczeniach teoretycznych momentu odkrętnego tarcia wewnętrznego w linie, właściwsze jest określenie momentu odkrętnego doświadczalnie. Badania momentu odkrętnego lin wyciągowych rozpoczęto w kraju w 1969 r. w dawnej Katedrze Maszyn Górniczych (obecnie Instytut Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej). Podstawą do rozpoczęcia takich badań był przypadek skręcenia układu przewodników linowych przez moment okrętny liny nośnej owalnosplotkowej trzywarstwowej $\varnothing 63$ mm w jednym z szybów krajowych kopalni rud miedzi [3,13].

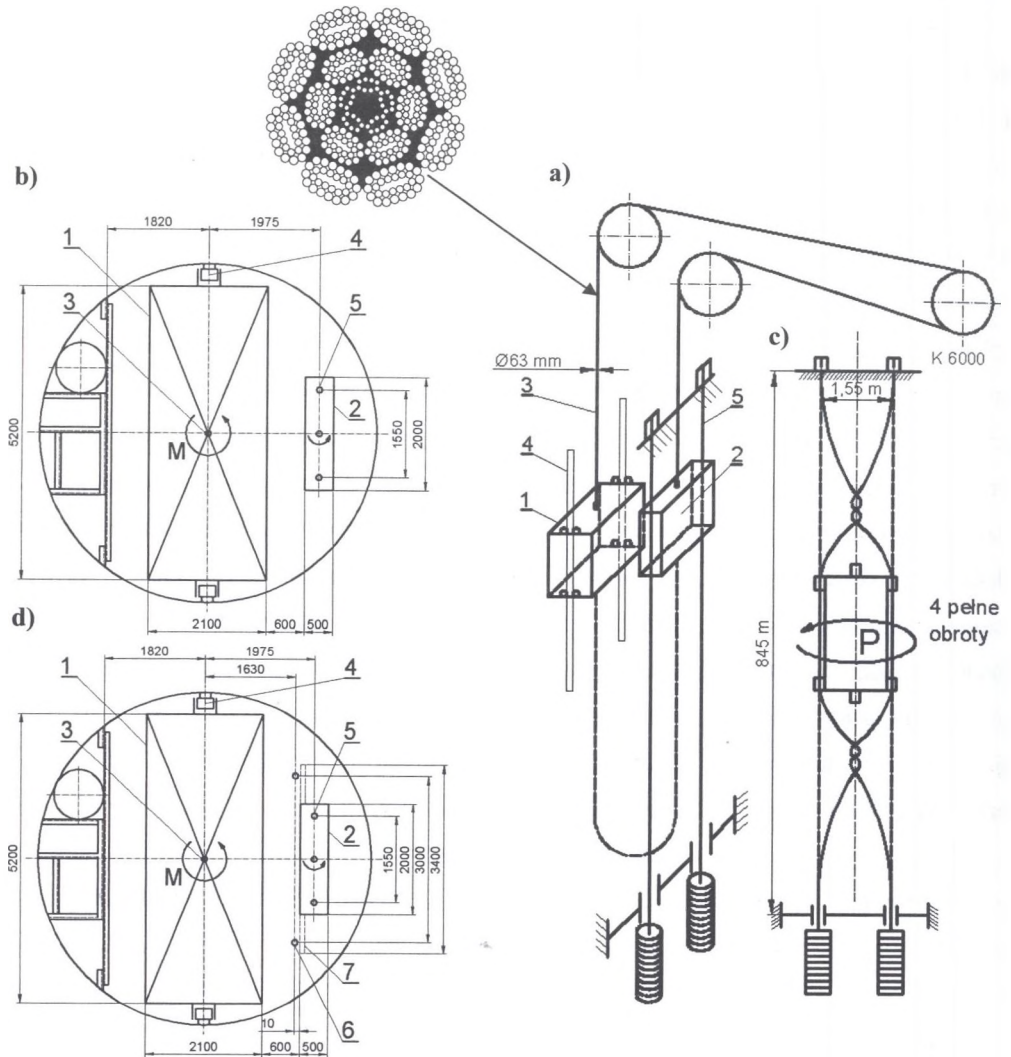
2. Skręcenie przewodników linowych

W szybach z przewodnikami sztywnymi moment okrętny liny nośnej równoważony jest reakcją naczyń w przewodnikach szybowych oraz w rowku bębna nawojowego lub pędnego. Przy zastosowaniu przewodników linowych, ze względu na ich elastyczność, moment odkrętny liny nośnej może doprowadzić do skręcenia o pewien kąt układu lin przewodniczych lub ich wzajemnego kilkakrotnego skręcenia.

W 1969 r. oddano do eksploatacji w jednej z polskich kopalń rud miedzi urządzenie wyciągowe jednolinowe, w którym klatka wielkogabarytowa prowadzona była za pomocą przewodników sztywnych, a przeciwiężar za pomocą dwu przewodników linowych (rys.1).

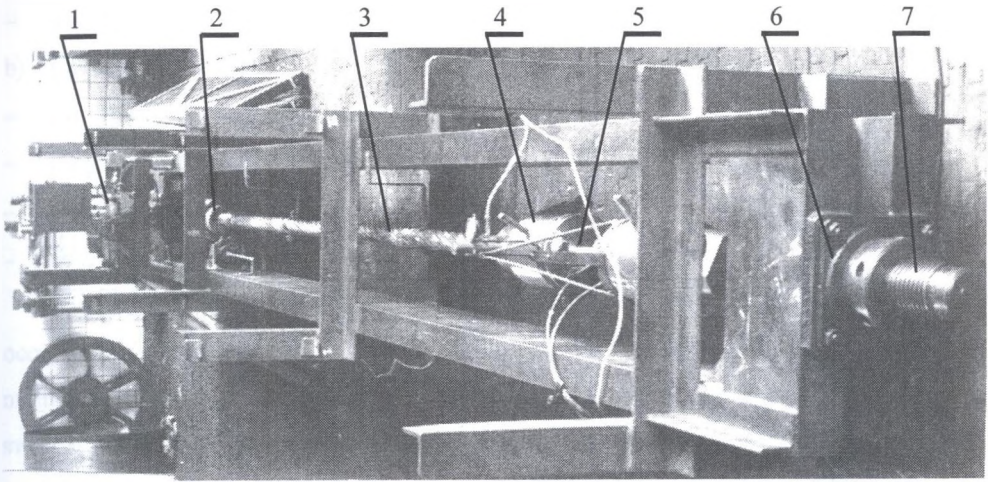
Podczas pierwszej jazdy naczyń wyciągowych w szybie L wystąpiła utrata stateczności układu przewodników linowych. Sumaryczny moment odkrętny (technologiczny i konstrukcyjny) liny nośnej owalnosplotkowej trzywarstwowej $\varnothing 63$ mm produkcji niemieckiej firmy Westfälische Union był większy od momentu reakcji układu przewodników linowych przeciwcieżaru. Awaria przejawiała się skokowym skręceniem przeciwcieżaru o kąt $4 \times 360^\circ$ (4 pełne obroty), to jest spleceniem przewodników linowych, które unieruchomiło urządzenie wyciągowe (rys.1c). W celu usunięcia skutków awarii najpierw odkręcono splecione przewodniki linowe, a następnie odkręcono częściowo linę nośną, zmieniając w ten sposób jej moment okrętny. Czynność ta okazała się wystarczająco skuteczna, pozwalając na uruchomienie urządzenia wyciągowego [13]. Dla zapewnienia całkowitego bezpieczeństwa pracy wyciągu, szczególnie przy jeździe ludzi, dla pewnego przeciwdziałania występującemu dalej w lince nośnej zmniejszonemu konstrukcyjnemu momentowi odkrętnemu zabudowano dodatkowo dwie liny pełniące funkcję lin przewodniczo-odbojowych (rys.1c). Tuż po zabudowaniu liny nośnej w szybie L i uruchomieniu wyciągu stwierdzono, że lina nośna ma tendencję do skręcania przeciwcieżaru prowadzonego za pomocą lin w stopniu uniemożliwiającym jazdę. Lina nośna obciążona przeciwcieżarem o wadze 78 kN, tj. dwukrotnie mniejszym od obciążenia koncesyjnego wynoszącego 159 kN, obróciła przeciwcieżar dookoła osi pionowej o kąt 20° już w odległości 150 m od nadszymbia.

Technologię odkręcania liny nośnej przedstawiono w pracy [13]. W opisanym przykładzie linę nośną odkręcono o 18 obrotów dookoła osi własnej. Obawiano się, że odkręcenie liny o tak znaczną liczbę obrotów (odkręcenie warstwy splotek zewnętrznych i jednocześnie dokręcenie splotek wewnętrznych w lince) wpłynie na obniżenie trwałości liny. Lina jednak pracowała przez 2 lata.



Rys. 1. Schematy: a – urządzenia wyciągowe w szybie L (1969 r), b – tarczy szybu – układ prowadzenia naczyń przed awarią skręcenia przewodników linowych, c – awaria skręcenia dwu przewodników linowych przeciwcieżaru, d – układ prowadzenia naczyń po awarii, 1 – klatka wielkogabarytowa dwupiętrowa, 2 – przeciwcieżar, 3 – lina nośna owalnosplotkowa trzywarstwowa $\varnothing 63$ mm, 4 – przewodniki sztywne stalowe klatki, 5 – przewodniki linowe przeciwcieżaru, 6 – liny odbojowe założone po awarii, 7 – dodatkowe ramiona przeciwcieżaru

Fig. 1. Diagrams: a – mining hoist in shaft L (1969), b – circular shaft cross – section before twist damage of rope guide for counterweight, c – twist damage of rope guide for counterweight, d – scheme after the damage, 1- two-floor cage, 2 – counterweight, 3 – oval strand of three-layer rope $\varnothing 63$ mm, 4 – fixed steel cage guide, 5 – rope guide for counterweight, 6 – rubbing ropes assembled after the damage, 7 – additional arms of counterweight



Rys. 2. Widok stanowiska do badań momentu odkrętnego lin stalowych za pomocą wałka skrętnego: 1 – napęd hydrauliczny, 2 – uchwyt, 3 – badana lina, 4 – uchwyt, 5 – wałek skrętny, 6 – łożysko oporowe, 7 – śruba napinająca

Fig. 2. View of testing stand for hoisting rope turn-off moment investigation using torsion shaft: 1 – fluid drive, 2 – grip, 3 – tested rope, 4 – grip, 5 – torsion shaft, 6 – axial ball bearing, 7 – tension screw

3. Badania momentu odkrętnego lin wyciągowych

Z analizy teoretycznej momentu odkrętnego liny wynika, że zależność między momentem odkrętnym M a statycznym obciążeniem rozciągającym F linę jest dla wielu konstrukcji lin zależnością liniową lub nieznacznie nieliniową (dla lin wielowarstwowych o dużych średnicach występuje zależność słabej funkcji drugiego stopnia), jednak dla celów inżynierskich wystarczające jest przyjęcie funkcji liniowej. Moment odkrętny określa zależność:

$$M = k \cdot F, \text{ Nm} \quad (1)$$

lub

$$M = k_1 \cdot d \cdot F, \text{ Nm} \quad (2)$$

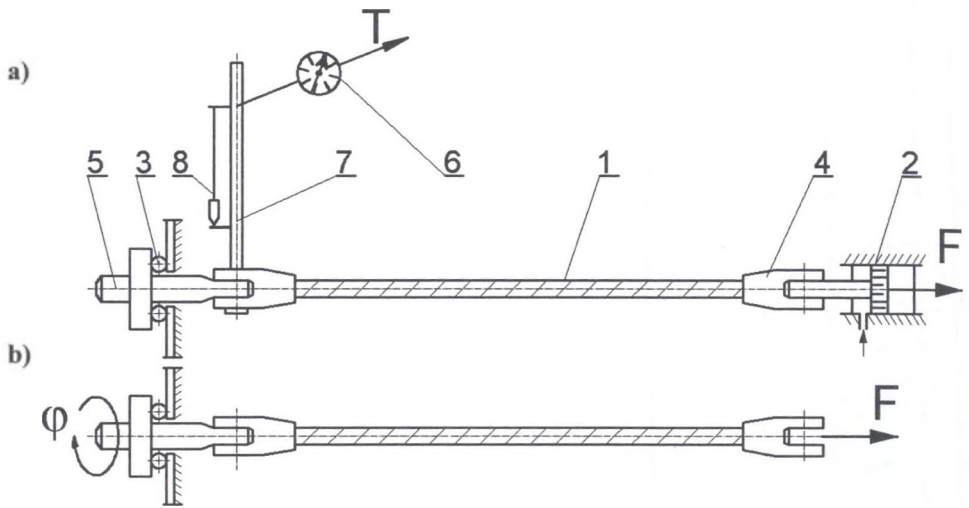
gdzie:

F – obciążenie rozciągające linę, N,

k – wymiarowy współczynnik odkrętności liny (zwany również zastępczym promieniem odkrętności konstrukcji liny), m,

k_1 – bezwymiarowy współczynnik odkrętności,

d – średnica konstrukcji liny.



Rys. 3. Schemat układu pomiarowego: a – momentu odkrętnego lin, b – swobodnych obrotów końca liny, 1 – lina, 2 – cylinder hydrauliczny, 3 – wzdluzne lozysko kulkowe, 4 – uchwyty stożkowe, 5 – śruba napinająca, 6 – dynamometr, 7 – ramię dynamometru, 8 – pion

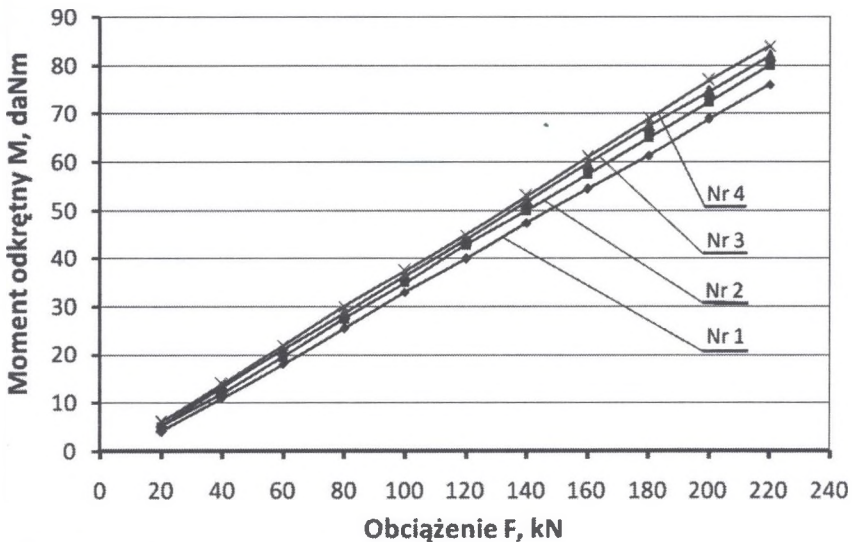
Fig. 3. Diagrams of testing stand: a – turn-off moment of hoisting rope, b – rope's end free turning, 1 – tested rope, 2 – hydraulic cylinder, 3 – axial ball bearing, 4 – tapered sleeve, 5 – tension screw, 6 – dynamometer, 7 – arm, 8 – vertical marker

Najkorzystniej współczynnik k lub k_1 jest wyznaczyć doświadczalnie. W celu opracowania opinii na temat wymienionego w pkt. 2 skręcenia przewodników linowych i opracowania wytycznych obliczeń układu lin przewodniczych z uwagi na działanie momentu odkrętnego liny nośnej (lin nośnych) w IMG Politechniki Śląskiej w 1969 r. opracowano dwie metody badań momentu odkrętnego. Pierwsza metoda polegała na zastosowaniu wałka skrętnego, na którym naklejono tensometry do pomiaru momentu odkrętnego (rys.2). Druga metoda polegała na zastosowaniu osiowego łożyska kulkowego (rys.3). Podczas badań momentu odkrętnego lin trójkątnospłatkowych dużych średnic $\varnothing 62$ mm przy dużej sile rozciągającej linę 500 kN przez nieuwagę wystąpiło plastyczne skręcenie wałka, przez co wałek ten nie nadawał się już do dalszych badań. Dalsze badania momentu odkrętnego lin wyciągowych różnych konstrukcji (okrągłosplatkowych, owalnosplatkowych, trójkątnospłatkowych o średnicach 30–63 mm oraz płaskich stalowo-gumowych) od 1969 roku prowadzono już według metody drugiej wykorzystującej wzdluzne lozysko kulkowe (rys.3). Badano odcinki lin nośnych i wyrównawczych różnej długości i konstrukcji:

- a) liny nośne,
- okrągłosplatkowe,
 - trójkątnospłatkowe,
 - owalnosplatkowe,

- okrągłospłotkowe z kablem telefonicznym w rdzeniu,
- b) liny wyrównawcze,
- okrągłospłotkowe dwuwarstwowe,
- okrągłospłotkowe trzywarstwowe,
- okrągłospłotkowe produkcji francuskiej NHRD,
- liny płaskie stalowo-gumowe.

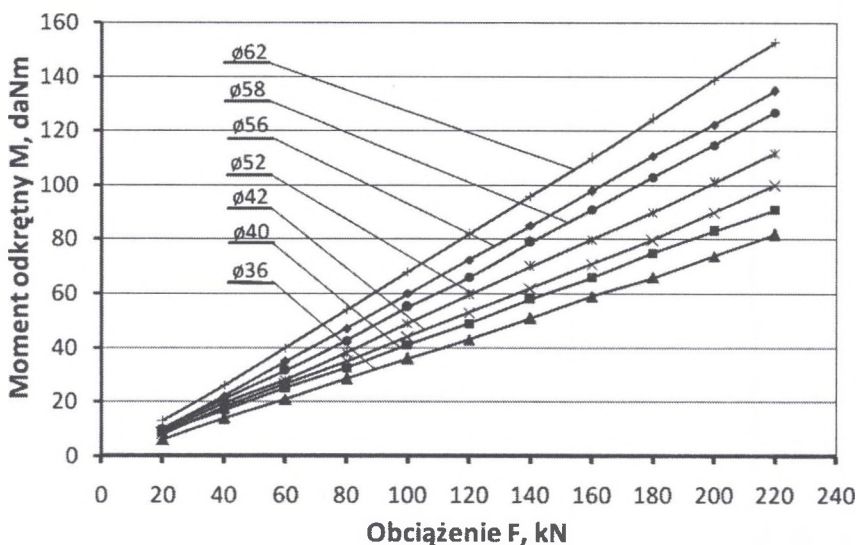
Badane odcinki lin dostarczone przez kopalnie lub firmy miały długości 5 i 8 m. Do oceny stopnia odkrętności lin wyciągowych, oprócz badania charakterystyki zależności momentu odkrętnego M od siły rozciągającej F , można również stosować badania swobodnych obrotów końca liny. Dla lin o małych średnicach przeprowadza się takie badania poprzez obciążenie swobodnego końca liny ciężarami i mierzenie za pomocą kątomierza kąta obrotu (lub obrotów). Dla lin większych średnic takie badanie jest utrudnione z uwagi na konieczność stosowania dużych ciężarów obciążających. W IMG Politechniki Śląskiej badania swobodnych obrotów końca liny prowadzono na tym samym stanowisku badawczym co badania momentu odkrętnego, lecz bez użycia dynamometru (rys.3b). Przykładowo, na rys. 4, 5, 6 przedstawiono wyniki badań momentu odkrętnego różnych konstrukcji lin. Na rys.4 przedstawiono wyniki badań lin trójkątnospłotkowych $\varnothing 36$ mm otrzymanych z różnych kopalń. Różnice w przebiegu momentu odkrętnego wynikają z różnych skoków zwicia lin (h).



Rys. 4. Wyniki badań momentu odkrętnego lin wyciągowych trójkątnospłotkowych $\varnothing 36$ mm o różnym skoku zwicia

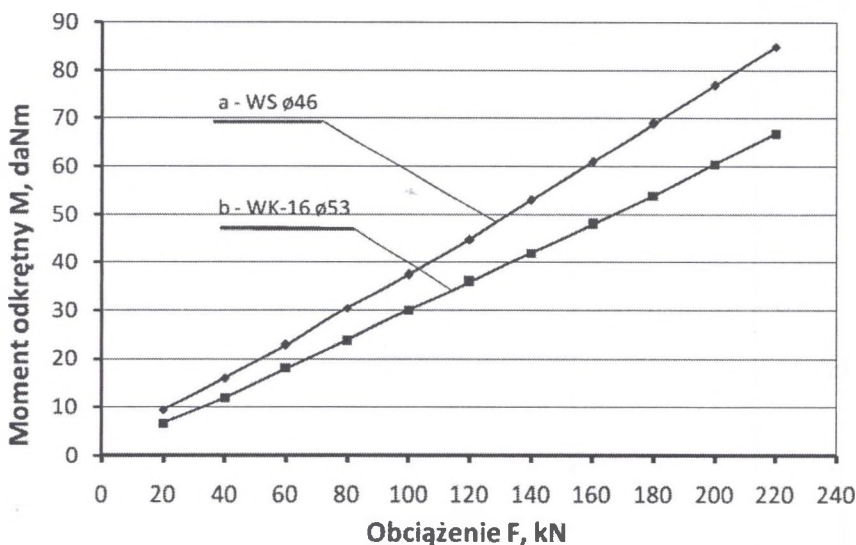
Fig. 4. Results of the turn-off moment tests for triangular strand ropes of $\varnothing 36$ mm with different rope lay length

Na rys.5 przedstawiono wyniki badań lin trójkątnospłotkowych o różnej średnicy, a na rys.6 wyniki lin okrągłospłotkowych.



Rys. 5. Wyniki badań momentu odwrótnego lin wyciągowych trójkątnospłotkowych. Konstrukcja lin wg PN-66/G-46602.

Fig. 5. Results of turn-off moment tests for triangular strand ropes, constr. according to PN-66/G-46602.



Rys. 6. Wyniki badań momentu odwrótnego lin wyciągowych konstrukcji: a - WS ø46, b - WK - 16ø53

Fig. 6. Results of the turn-off moment tests for round strand ropes type: a - WS ø46, b - WK - 16ø53

Wyniki badań innych konstrukcji lin wyciągowych przeprowadzonych w IMG Pol. Śl. przedstawiono w pracach [3-8]. Badania zagraniczne są przedstawione w pracach [2,9,10,12,14]. W kraju również od 1970 r. badano moment odwrótny lin wyciągowych różnej

konstrukcji w Głównym Instytucie Górniczym w Katowicach. Obszerne wyniki tych badań przedstawiono w pracy Hankus J. [11]. Badania momentu odkrętnego lin wyciągowych prowadzone są także w firmie „Autorytet” [1]. W praktyce inżynierskiej zamiast wielkości momentu odkrętnego liny stalowej istotna jest informacja o współczynniku odkrętności liny k (wzór (1)). W tabelicy 1 zestawiono wyznaczone doświadczalnie współczynniki odkrętności badanych lin wyciągowych.

Tabelica 1

Wyznaczone doświadczalnie współczynniki odkrętności k_d lin różnych konstrukcji przy przyjęciu liniowej zależności $M=f(F)$. Liny trójkątnospłotkowe wg PN-66/G-46602

Lina	Średnica d , mm	Konstrukcja liny	Skok zwicia liny h		Doświadczalny współczynnik odkrętności k_d , m
			nominalny	zmierzony	
Owalnosplotkowa-3 war. niemiecka	36	$7 \times 24 + 5 \times 20 + 4 \times 7 + A_o$	243	243	0,0015
Owalnosplotkowa-3 war. polska	40	$7 \times 24 + 5 \times 20 + 4 \times 7 + A_o$	280	290	0,00185
Owalnosplotkowa-3 war. polska	62	$7 \times 24 + 5 \times 20 + 4 \times 7 + A_o$	433	452	0,0028
Owalnosplotkowa-3 war. polska	62	$7 \times 24 + 5 \times 20 + 4 \times 7 + A_o$	433	488	0,0026
Owalnosplotkowa-3 war. niemiecka	63	$5 \times 9 + 6 \times (1A1 + 10 + 14) + 8 \times (1A1 + 11 + 15)$	502	520	0,0030
Owalnosplotkowa-3 war. niemiecka	63	$5 \times 9 + 6 \times (1A1 + 10 + 14) + 8 \times (1A1 + 11 + 15)$	502	530	0,0026
Trójkątnospłotkowa	62	$6 \times 52 + A_o$	485	510	0,0069
Trójkątnospłotkowa	58	$6 \times 52 + A_o$	450	470	0,0057
Trójkątnospłotkowa	56	$6 \times 50 + A_o$	420	446	0,0061
Trójkątnospłotkowa	52	$6 \times 36 + A_o$	400	453	0,0050
Trójkątnospłotkowa	42	$6 \times 33 + A_o$	320	340	0,0045
Trójkątnospłotkowa	40	$6 \times 33 + A_o$	340	360	0,0042
Trójkątnospłotkowa	36	$6 \times 32 + A_o$	270	300	0,0037

4. Podsumowanie

Z przeprowadzonych badań i analizy literatury wynika, że badania momentu odkrętnego lin wyciągowych przy zastosowaniu zamocowania jednego końca odcinka liny w zrywarce poprzez wzdłużne łożysko kulkowe są stosowane najczęściej. Prosty pomiar momentu odkrętnego liny za pomocą odpowiedniego dynamometru jest wystarczająco dokładny. Z badań wynika, że bardzo istotny wpływ na przebieg momentu odkrętnego ma sposób przygotowania odcinka liny do badań. Bezwzględnie należy zachować osiowość zamocowania stożkowych uchwytnów na końcach próbki liny. Wzajemne niewielkie skręcenie

uchwyty względem siebie o $3\div 5^\circ$ powoduje, że początki charakterystyk momentu odkrętnego zaczynają się nie od współrzędnej $x=0$ i $y=0$, lecz przesuwają się w górę lub w dół na osi y , powodując początkowy stały moment $\pm a$ we wzorze $M=a+kF$. Badania wykazały, że:

- liny jednowarstwowe okrągłosplotkowe i trójkątnosplotkowe wykazują dobrą zależność liniową $M=f(F)$,
- liny dwuwarstwowe wykazują również zależność liniową $M=f(F)$,
- liny trzywarstwowe (okrągłosplotkowe, owalnosplotkowe) wykazują nieznaczną zależność krzywoliniową szczególnie przy dużych średnicach. Do celów praktycznych z uwagi na nieznaczące różnice pomiędzy zależnością krzywoliniową a prostoliniową można przyjmować zależność liniową,
- liny trzywarstwowe, szczególnie owalnosplotkowe, charakteryzują się najmniejszym momentem odkrętnym, następnie to liny trzywarstwowe okrągłosplotkowe. Te liny możemy zaliczyć do lin nieodkrętnych,
- liny dwuwarstwowe możemy zaliczyć do lin małodokrętnych,
- liny jednowarstwowe o splotkach okrągłych oraz kształtowych wykazują największy moment odkrętny.

LITERATURA

1. Błaszkiwicz H.: Badania laboratoryjne lin wyrównawczych dwuwarstwowych wykonanych według FWT – 96/L – 08 Fabryki Lin i Drutów „Falind” Spółka z o.o. w Sosnowcu. Zespół Rzeczoznawców Urzędów Technicznych AUTORYTET Spółka z o.o. Lublin, kwiecień – maj 1997.
2. Boroška J., Štroffek E.: Metódy výpočtu a experimentálneho určenia krúťaceho momentu ocelových lan. Zborník vedeckých prac Zv.1. Vysoká Škola Technická w Košiciach. Košice, Slovenska Republika, 1978.
3. Carbogno A.: Badania stopnia odkrętności lin owalnosplotkowych $\phi 63$ mm i $\phi 62$ mm. Praca NB. Katedra Maszyn Górniczych Politechniki Śląskiej. Gliwice, marzec 1970.
4. Carbogno A.: Wpływ momentu odkrętnego nośnej liny wyciągowej na prace przewodników linowych. Projekty – Problemy BPPW, Nr 2, 1971.
5. Carbogno A.: Moment okrętny liny wyciągowej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Górnictwo z. 52, Gliwice 1972.
6. Carbogno A., Jarmołowicz Z.: Badania momentu odkrętnego lin wyciągowych do głębinia szybów. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Górnictwo z. 116, Gliwice 1982.

7. Carbogno A., Czaja J.: Badania momentu odkrętnego lin wyciągowych dwuwarstwowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Górnictwo z. 116, Gliwice 1982.
8. Carbogno A.: Badania momentu odkrętnego lin wyrównawczych okrągłych trzywarstwowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Górnictwo z. 154, Gliwice 1987.
9. Feyrer K., Schiffner G.: Drehmoment und Drehsteifigkeit von Drahtseilen. Draht 37, Nr1, 1986.
10. Gassmann H. R.: Torsionsmomente in Förderseilen von Umlaufbahnen. Fortschritt Berichte der VDI Zeitschriften. Reihe 13 Nr 19. VDI – Verlag GmbH, Düsseldorf, 1981.
11. Hankus J.: Moment odkrętu lin wyciągowych. Prace GIG, Komunikat nr 579, GIG Katowice 1973.
12. Kollross W.: Zusammenhang zwischen Torsionsmoment, Zugkraft und Verdrillung in Seilen. Draht, Nr 10, 1975.
13. Łydka F.: Częściowe odkręcanie liny nośnej owalnosplotowej trzywarstwowej w urządzeniu wyciągowym z linowym prowadzeniem naczyń. Projekty - Problemy BPPW, Nr 2, 1971.
14. Unterberg H. W.: Das Verdrillen der Seilstränge bei Kranen mit grossen Hakenwagen. Förden und Heben 29, Nr 2, 1979.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Walery Szuścik