

Alfred CARBOGNO

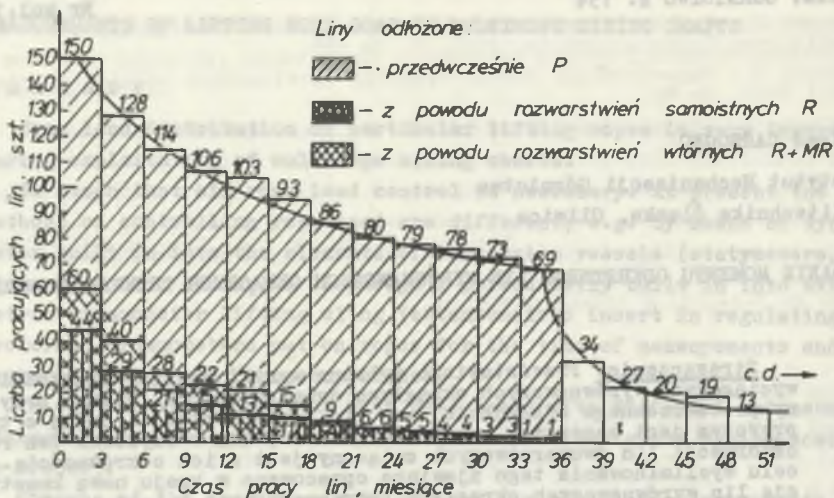
Instytut Mechanizacji Górnictwa  
Politechnika Śląska, Gliwice

## BADANIE MOMENTU ODKRĘTNEGO LIN WYRÓWNAWCZYCH OKRĄGLYCH TRZYWARSTWOWYCH

**Streszczenie.** Przedstawiono wybrane wyniki analizy trwałości lin wyciągowych wyrównawczych okrągłych dwuwarstwowych. Podano przyczyny przedczesnego odkładania tych lin z eksploatacji. Jedną z tych przyczyn jest samoistne rozwarstwianie się lin w szybach. Ten rodzaj deformacji lin dwuwarstwowych związany jest z ich okrężnością. W celu wyeliminowania tego zjawiska opracowano w kraju nową konstrukcję lin wyrównawczych okrągłych trzywarstwowych o bardzo małej okrężności. Omówiono metodę badań momentu odkrętnego lin wyrównawczych okrągłych trzywarstwowych konstrukcji  $33 \times 7 + A$ , podano szkic stanowiska badawczego wykonanego na bazie typowej poziomej zrywarki do lin. Przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych momentu odkrętnego tych lin o różnych średnicach i o różnym stanie skręcenia liny w zrywance (dokręcanie i odkręcanie liny). Podano również wyniki badań swobodnego kręcenia się liny w zrywance. Przedstawiono sposób teoretycznego obliczenia momentu odkrętnego badanych lin. Wyniki badań porównano z obliczeniami teoretycznymi wykonanymi według jednej z powszechnie stosowanych metod obliczeniowych. Wyniki badań okrężności lin konstrukcji  $33 \times 7 + A_0$  porównano z takimi samymi wynikami badań przeprowadzonymi wcześniej dla lin wyrównawczych okrągłych dwuwarstwowych typu GIG, które do tej pory są w kraju podstawową konstrukcją lin wyrównawczych okrągłych.

### 1. WSTĘP

W górnictwie krajowym zarówno w kopalniach węgla, jak i rud miedzi jako podstawowe liny wyciągowe wyrównawcze okrągłe stosowane są liny nieodkrętne dwuwarstwowe typu GIG z rdzeniem organicznym, które ujęte są w normie BN-69/1727-04. W związku z otrzymywanymi z kopalń sygnałami o niezadowalającej trwałości tych lin w Instytucie Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej przeprowadzono na zlecenie Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach analizę ich czasu pracy, jak również analizę przyczyn przedczesnego wycofywania ich z eksploatacji [2]. Analizą objęto 62 urządzenia wyciągowe z kołem pędym jedno-, dwu- i czterolinowym wieżowym. W urządzeniach tych liny te były zawieszane pod naczyniami wyciągowymi w liczbie od 1 do 4. Badaniami objęto łącznie 249 lin, z których 150 sztuk zostało do momentu zakończenia analizy odłożonych. Liny te pracowały w szybach o głębokości 90 m (szybiki) do 829 m. Jako kryterium trwałości przyjęto wymagany w kraju 3-letni czas pracy lin wyrównawczych.



Rys. 1. Histogram trwałości lin wyrównawczych okrągłych dwuwarstwowych typu GIG

Fig. 1. Durability histogram of closed balance two-layer ropes of GIG type

Ze 150 lin wycofanych z eksploatacji przedwcześnie odłożono 83 liny (55,3%), a po przepracowaniu 3 lat i więcej odłożono 67 lin (44,7%). Graficznie czas pracy lin odłożonych przedstawiono na rys. 1. Na rysunku tym pokazano zmniejszanie się liczby pracujących lin wyrównawczych wraz z upływem czasu ich pracy. Obliczona z wykresu na rys. 1 średnia trwałość lin typu GIG wynosi 25,8 miesiąca, a dla głębokości ciągnięcia  $H > 650$  m tylko 21,2 miesiąca. Przyczyny przedwczesnego odłożenia 55,3% lin można podzielić na cztery podstawowe grupy:

- samoistne rozwarstwienie (R) - 53%,
- uszkodzenie mechaniczne (M) - 39,8%,
- grupowe pęknięcie drutów (P) - 2,4%,
- inne (I) - 4,8%.

Przez samoistne rozwarstwienie liny rozumie się deformacje liny w postaci wyjścia splotów warstwy wewnętrznej na zewnątrz liny. Rozwarstwienie to zwykle powiększa się wzdłuż długości liny tworząc czasami w krytycznym stanie pętle ze splotów wewnętrznych (rys. 2). Ten rodzaj deformacji jest charakterystyczny dla lin typu GIG. Z analizy wynika, że o samoistnym rozwarstwianiu się lin typu GIG decydują następujące czynniki:

- konstrukcja liny, to znaczy dobór liczby splotek, ich średnic oraz kątów i skoków zwicia w warstwach liny, co ściśle jest związane ze stopniem odkrętności liny,



Rys. 2. Widoki kolejnych faz deformacji liny wyrównawczej okrągłej typu GIG w postaci samodzielnego rozwarstwiania się liny w szybie (wychodzenia splotek warstwy wewnętrznej na zewnątrz liny)

a, b - faza początkowa, c - faza końcowa, 1 - splotki warstwy wewnętrznej, 2 - splotki warstwy zewnętrznej

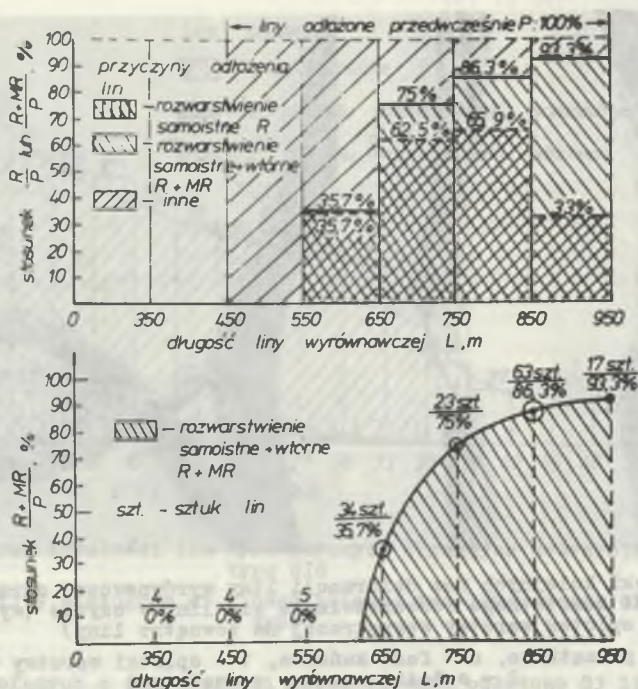
Fig. 2. Views of particular deformation phases of closed balance rope of GIG type as self-delamination of rope in the shaft (coming out of the inner layer strands)

a, b - initial phase, c - final phase, 1 - inner layer strands, 2 - external layer strands

- technologia wykonania liny,

- warunki eksploatacji, do których zaliczyć można geometrię nawrotu liny w rzepiu, sposób zakładania i wymiany lin, stan zawiesi obrotowych oraz głębokość ciągnięcia  $H$  (długość zwisającej gałęzi liny  $L$ ), która wpływa na kręcenie się liny wokół własnej osi w szybie pod wpływem ciężaru własnego.

Z rysunku 3 wynika, że rozwarstwienia samoistne i wtórne szczególnie występują po przekroczeniu głębokości ciągnięcia 550 m. Przez rozwarstwienie wtórne (symbol MR) rozumie się rozwarstwienie liny, które wystąpiło po uprzednim jej mechanicznym uszkodzeniu. Szczegółowo i obszernie analizę trwałości lin typu GIG przedstawiono w pracy [2]. Ogólnie można stwierdzić, że stopień nieodkrętności lin typu GIG wpływa na ich niską trwałość i jest przyczyną ich samoistnego rozwarstwiania się w szybie. Chcąc uzyskać dużą nieodkrętność konstruktorzy lin typu GIG zastosowali małe skoki zwicia splotek warstwy wewnętrznej, a duże skoki zwicia splotek zewnętrznych w linie, co oczywiście sprzyja rozwarstwianiu się lin. Praktyka wykazała,



Rys. 3. Udział procentowy rozwarstwienia samoistnego (R) oraz rozwarstwienia samoistnego i wtórnego łącznie (R+MR) w linach odłożonych przedwcześnie w zależności od długości L liny wyrównawczej okrągłej dwuwarstwowej typu GIG

Fig. 3. Percentage share of self-delamination (R) and self-delamination along with the secondary one (R+MR) in ropes withdrawn too early according to the length L of closed balance two-layer rope of GIG type

że nie można uzyskać liny okrągłej dwuwarstwowej o dużym stopniu nieodkrętności niezbędnym w przypadku stosowania tych lin jako wyrównawczy bez ubocznych negatywnych skutków, np. rozwarstwiania się. Powyższe wpłynęło na to, że zaczęto poszukiwać nowej konstrukcji liny wyrównawczej nieodkrętej. Tą nową konstrukcją jest lina trzywarstwowa konstrukcji 33x7+A<sub>0</sub>.

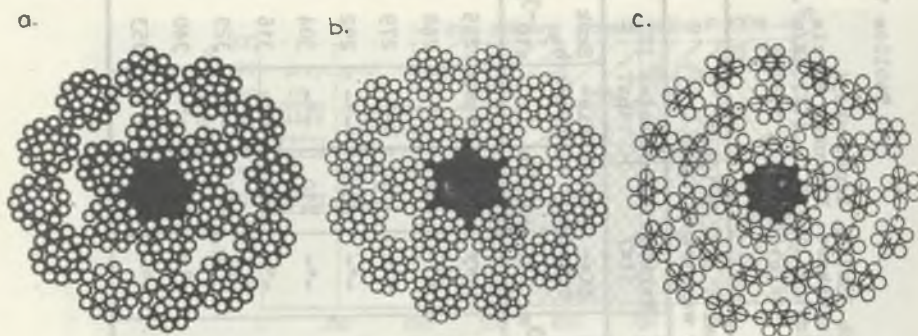
## 2. KONSTRUKCJA LINY WYRÓWNAWCZEJ OKRĄGŁEJ NIEODKRĘTNEJ 33x7+A<sub>0</sub>

W linie tej splotki wszystkich warstw mają jednakową konstrukcję i druty tej samej średnicy (rys. 4). Skok zwicia drutów w splotkach poszczególnych warstw liny jest jednakowy. Warstwa zewnętrzna splotek wykonana jest jako współzwita prawa, środkowa jako przeciwniezwita lewa i wewnętrzna jako współzwita lewa. Stosunek długości skoków zwicia warstwy splotek zewnętrznej

Tablica 1

Dane konstrukcyjne i wytrzymałościowe lin wyrównawczych okrągłych trzywarstwowych  $33x+A_0$  konstrukcji  $(16x7) + (11x7) + (6x7) + A_0$ . Skoki zwicia drutów w spłotkach wszystkich warstw jednakowe. Kierunek zwicia drutów w spłotkach warstwy I-lewy, II-prawy, III-prawy. Wytrzymałość nominalna drutów liny  $R_m = 1177 \text{ MN/m}^2$ . Według producenta sprawność wytrzymałościowa liny nie mniejsza niż  $\eta = 0,80$ ,  $\eta = P_c/P_0$ , gdzie  $P_c$  - siła zrywająca linę w całości

Lp.	Średnica liny		Średnica drutów $\phi$ $\times 10^{-3} \text{ m}$	Przekrój nośny liny $F$ $\text{m}^2$ $\times 10^{-6} \text{ m}^2$	Masa jednostkowa liny $q$ kg/m	Obliczeniowa siła zrywająca $P_0$ , kN	Skok zwicia drutów w spłotkach $b_0$ $\times 10^{-3} \text{ m}$	Kierunek i skok zwicia spłotek w warstwach liny					
	Obliczeniowa $d_0$ $\times 10^{-3} \text{ m}$	Nominalna $d$ $\times 10^{-3} \text{ m}$						Warstwa I $6x7$		Warstwa II $11x7$		Warstwa III $16x7$	
								Kierunek	Skok $h_1$ $\times 10^{-3} \text{ m}$	Kierunek	Skok $h_2$ $\times 10^{-3} \text{ m}$	Kierunek	Skok $h_3$ $\times 10^{-3} \text{ m}$
1	39,8	41	2,1	800,18	7,4	960,2	63	lowy	112	lowy	176	prawy	255
2	41,8	43	2,2	878,03	8,1	1053,6	66	"	118	"	186	"	268
3	43,7	45	2,3	959,80	8,9	1151,8	69	"	123	"	193	"	279
4	45,6	47	2,4	1043,04	9,7	1254,0	72	"	128	"	202	"	292
5	47,6	49	2,5	1133,96	10,5	1380,8	75	"	134	"	210	"	304
6	49,4	51	2,6	1226,38	11,3	1471,7	78	"	139	"	218	"	316
7	51,3	53	2,7	1322,71	12,2	1587,2	81	"	144	"	227	"	329
8	53,2	55	2,8	1422,49	13,1	1707,0	84	"	150	"	235	"	340
9	55,1	57	2,9	1525,02	14,0	1830,0	87	"	156	"	243	"	353



Rys. 4. Przekroje poprzeczne lin wyrównawczych okrągłych  
 a - typu GIG konstrukcji  $18 \times 16 + A_0$ , b - typu GIG konstrukcji  $18 \times 19 + A_0$ ,  
 c - trzywarstwowej konstrukcji  $33 \times 7 + A_0$

Fig. 4. Cross-section of closed balance ropes  
 a - type GIG of construction  $18 \times 16 + A_0$ , b - type GIG of construction  
 $18 \times 19 + A_0$ , c - three-layer, construction  $33 \times 7 + A_0$

trznich  $h_3$  do długości skoku zwicia warstwy środkowej  $h_2$  wynosi  $h_3/h_2 = 1,45$ , a warstwy zewnętrznej  $h_3$  do wewnętrznej  $h_1$  wynosi  $h_3/h_1 = 2,27$ . Poszczególne warstwy splotek w linie podczas jej produkcji poddawane są odprężaniu w urządzeniach rolkowych. Druty i splotki liny oraz rdzeń organiczny podczas skręcania liny konserwowane są smarem do lin marki "Kolinстал". Parametry konstrukcyjne tych lin podano w tabelicy 1.

Liny konstrukcji  $33 \times 7 + A_0$  zostały wdrożone do eksploatacji bez przeprowadzenia szerszych badań ich własności mechanicznych. Wstępne badania momentu odkrętnego jednej liny wykazały małe jego wartości w porównaniu z innymi konstrukcjami lin wyciągowych. Powyższe oraz brak możliwości występowania deformacji tych lin w postaci samoistnego rozwarstwiania z uwagi na trzy warstwy splotek było podstawą do ich dopuszczenia do eksploatacji. W celu bardziej prawidłowej oceny stopnia nieodkrętności lin  $33 \times 7 + A_0$  w IMG Pol. Śl. przeprowadzono badania tych lin o wszystkich aktualnie stosowanych średnicach. Badania te porównano z badaniami odkrętności lin typu GIG.

### 3. OBLICZENIE TEORETYCZNE MOMENTU ODKRĘTNEGO

W wyniku śrubowego zwicia drutów w splotkach oraz splotek w linie powstaje w niej pod wpływem siły rozciągającej moment odkrętny rozkręcający linę. Wielkość tego momentu zależy od wielkości rozciągającej siły osiowej w linie, od konstrukcji i technologii wykonania liny oraz od wielkości

naprężenia sprężystego, wprowadzonego do liny w procesie skręcania drutów i splotek, czyli tzw. technologicznego momentu skręcającego linę, który jest trudny do obliczenia. W praktyce projektowej doboru lin wyciągowych posługujemy się wyłącznie wielkością konstrukcyjnego momentu odkrętnego zależnego od konstrukcji i obciążenia liny. Zależność pomiędzy obciążeniem rozciągającym a momentem odkrętnym liny można wyprowadzić wychodząc z warunków równowagi sił oraz deformacji drutów i splotek w linie [6]. Podana w pracy [6] teoria momentu odkrętnego daje bardzo skomplikowane zależności. W kraju do obliczeń teoretycznego momentu odkrętnego lin stalowych stosuje się teorię uproszczoną [1, 3, 4, 5, 7] .

W obliczeniach teoretycznych czyni się następujące założenia:

- w drutach liny nie występują naprężenia własne, tylko siła  $P_1$  w osi drutu będąca składową siły rozciągającej linę  $P$ ,
- przekroje przyjętej do rozważań liny nie wykazują żadnych obrotów (odkształceń skrętnych),
- poprzeczne odkształcenia sprężyste i plastyczne w miejscach krzyżowania się drutów w linie, wywołane siłą rozciągającą linę  $P$ , zostają pominięte,
- nie uwzględnia się sił tarcia wewnętrznego w linie,
- zachowane zostaną warunki równowagi w odniesieniu do liny nieodkształczonej.

Teoretycznie zależność momentu odkrętnego od obciążenia dla typoszeregu lin wyrównawczych okrągłych trzywarstwowych konstrukcji  $33x7+A_0$  obliczono podobnie jak dla lin dwuwarstwowych typu GIG [3, 4] z uwzględnieniem parametrów konstrukcyjnych tych lin podanych w tabelicy 1. Dla przyjętych kierunków zwicia elementów konstrukcyjnych liny, jak na rys. 5, zgodnych z ZWT-77/TT-6, wypadkowy moment odkrętny liny wynosi:

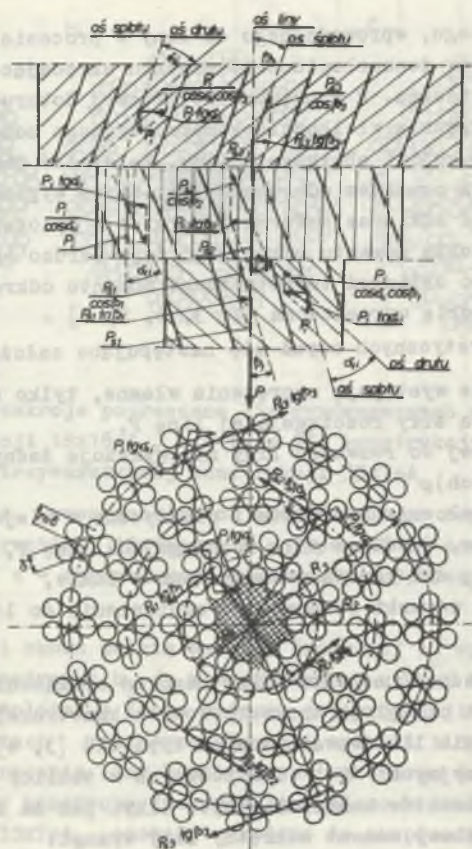
$$M = M_3 - (M_2 + M_1) = m_3(M_{s3} + M_{d3}) - m_2(M_{s2} - M_{d2}) + m_1(M_{s1} + M_{d1}), \quad (1)$$

gdzie:

- $M_1, M_2, M_3$  - sumaryczny moment odkrętny danej warstwy splotek w linie,
- $m_1, m_2, m_3$  - liczba splotek w warstwie liny,
- $M_{s1}, M_{s2}, M_{s3}$  - moment odkrętny jednej splotki w danej warstwie liny,
- $M_{d1}, M_{d2}, M_{d3}$  - moment odkrętny drutów w splotce danej warstwy liny,
- $n_1, n_2, n_3$  - liczba drutów w warstwie splotki danej warstwy liny,
- 1, 2, 3 - oznaczenia warstw splotek liny licząc od rdzenia liny,
- (+ lub -) - znak uwzględniający kierunek zwicia elementu liny.

Ponieważ konstrukcja splotki jest identyczna we wszystkich warstwach splotek w linie, to  $M_{d1} = M_{d2} = M_{d3} = M_d$ , a wzór (1) przyjmie postać:

$$M = m_3 M_{s3} - m_2 M_{s2} - m_1 M_{s1} + M_d (m_3 + m_2 - m_1) \quad (2)$$



Rys. 5. Rozkład sił i momentów w linii wielosplotkowej trzywarstwowej konstrukcji 33x7+A<sub>0</sub>

Fig. 5. Power and moments distribution in multi-strand three-layer rope of construction 33x7+A<sub>0</sub>

Momenty odkrętne poszczególnych elementów konstrukcyjnych linii wynoszą:

- splotek w warstwach linii

$$M_{S1} = P_{S1}R_1 \cdot \operatorname{tg} \beta_1, \quad M_{S2} = P_{S2}R_2 \cdot \operatorname{tg} \beta_2, \quad M_{S3} = P_{S3}R_3 \operatorname{tg} \beta_3, \quad (3)$$

- drutów w splotce linii

$$M_d = n \cdot P_1 r_1 \operatorname{tg} \alpha_1, \quad (4)$$



gdzie:

$P_{s1}, P_{s2}, P_{s3}$  - obciążenie rozciągające linię przypadające na jedną splotkę w warstwie linii,

$R_1, R_2, R_3$  - promienie zwicha warstwy splotek w linii,

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$  - kąty zwicha splotek w warstwie linii,

$P_1$  - obciążenie rozciągające linię przypadające na jeden drut w linii,

$r_1, \alpha_1$  - promień i kąt zwicha drutów w splotce danej warstwy linii.

W przypadku linii  $\beta\beta x7+A_0$ , w której konstrukcje splotek są jednakowe, możemy zapisać, że  $P_s = P_{s1} = P_{s2} = P_{s3}$ ,  $p = P_1 = P_2 = P_3$ ,  $n = n_1 = n_2 = n_3$ ,  $\alpha = \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3$  oraz  $r = r_1 = r_2 = r_3 = \delta$ , gdzie  $\delta$  - średnica drutu.

Po uwzględnieniu powyższego oraz zależności (3) i (4) wzór (2) przyjmuje postać:

$$M = P_s (m_3 R_3 \operatorname{tg} \beta_3 - m_2 R_2 \operatorname{tg} \beta_2 - m_1 R_1 \operatorname{tg} \beta_1) + (m_3 + m_2 - m_1) n \cdot p \cdot r \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (5)$$

Ponieważ druty w linii mają jednakowe średnice, więc parametry konstrukcyjne, takie jak  $R_1, R_2, R_3, \operatorname{tg} \beta_1, \operatorname{tg} \beta_2, \operatorname{tg} \beta_3$  oraz  $r$  i  $\operatorname{tg} \alpha$  możemy wyrazić poprzez średnice drutu  $\delta$ . Z analizy parametrów geometrycznych linii zawartych w tabelicy 1 wynika, że:

$$R_1 = 2\delta, \quad R_2 = 5\delta, \quad R_3 = 8\delta \quad \text{oraz że} \quad \operatorname{tg} \beta_1 = 0,2356,$$

$$\operatorname{tg} \beta_2 = 0,3749, \quad \operatorname{tg} \beta_3 = 0,4126, \quad \operatorname{tg} \alpha = 0,2094, \quad m_1 = 6, \quad m_2 = 11,$$

$$m_3 = 16, \quad \text{liczba drutów w linii } 231,$$

wobec czego wzór (5) możemy zapisać w postaci:

$$M = [896 \operatorname{tg} \beta_3 - 385 \operatorname{tg} \beta_2 - 84 \operatorname{tg} \beta_1 + 126 \operatorname{tg} \alpha] \frac{\delta \cdot P}{231} \quad (6)$$

Po wstawieniu danych otrzymano dla aktualnej konstrukcji linii:

$$M = 1,004 \delta \cdot P, \quad Nm \quad (7)$$

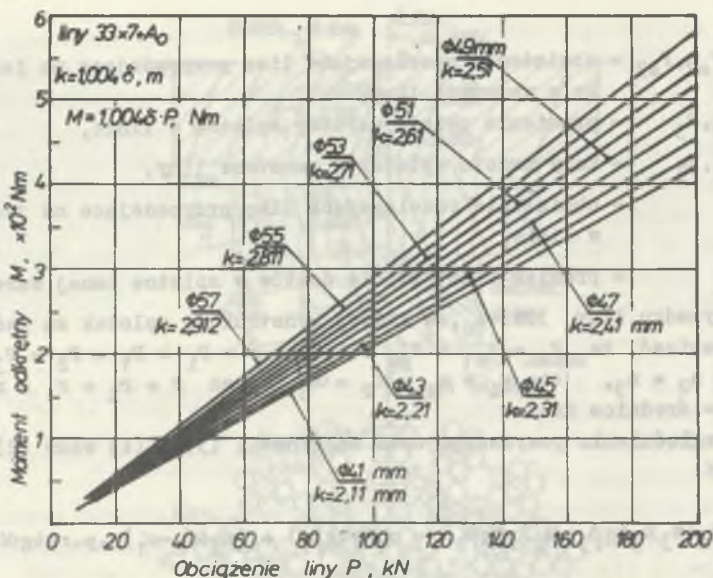
lub

$$M = k \cdot P, \quad Nm \quad (8)$$

gdzie:

$k = 1,004 \delta$  - współczynnik odkrętności linii, m,

$P$  - obciążenie rozciągające linię N.



Rys. 6. Obliczony teoretycznie moment odkrętny  $M$  typoszeregu lin wyrównawczych okrągłych trzywarstwowych konstrukcji  $33 \times 7 + A_0$ .

Fig. 6. Theoretical calculated turn-in-off moment  $M$  of series of types of closed balance three-layer ropes of construction  $33 \times 7 + A_0$ .

Dla tego przypadku obliczone zależności teoretyczne momentu odkrętnego  $M$  od obciążenia liny  $P$  przedstawiono na rys. 6. Analizując inne warianty kierunku zwicha elementów liny otrzymano:

- dla wszystkich elementów liny zwitych w jednym kierunku (lina współzwita, warstwy splotek współzwite)

$$M = 2,4904 \delta \cdot P, \quad \text{Nm} \quad (9)$$

$$k_w = 2,4904 \delta, \quad \text{m}$$

- dla przypadku warstwy splotek zewnętrznych współzwitej prawej i warstw środkowej oraz wewnętrznej współzwitych lewych

$$M = 0,8845 \delta \cdot P, \quad \text{Nm} \quad (10)$$

- dla przypadku warstwy splotek zewnętrznych przeciwwzitej prawej i warstw środkowej oraz wewnętrznej współzwitych lewych

$$M = 0,7104 \delta \cdot P, \quad \text{Nm} \quad (11)$$

Z analizy zależności (7) do (11) wynika, że zastosowany w aktualnej konstrukcji liny  $33x7+A_0$  wariant kierunków zwicia (wzór 7) jest najniekorzystniejszy pod względem odkrętności liny (pomijając wariant odniesienia, w którym wszystkie elementy w linie są współzwite; wzór 9). Najkorzystniejszy byłby wariant konstrukcji liny, w której warstwa splotek zewnętrznych byłaby przeciwwzita prawa, a warstwy splotek środkowych i wewnętrznych byłyby współzwite lewe (wzór 11). Dla tego przypadku wartości teoretycznie obliczonych współczynników odkrętności są o 30% mniejsze od współczynników odkrętności stosowanego w praktyce wariantu konstrukcji  $33x7+A_0$ . Zwraca się jednak uwagę, że w przypadku lin wielosplotowych nie zawsze stosowanie wariantu zwicia elementów konstrukcyjnych liny zapewniającego jej największą nieodkrętność jest korzystne dla trwałości liny, gdyż w tym przypadku z reguły pogarsza się jakość styku zewnętrznych drutów splotek pomiędzy warstwami splotek w linie.

W praktyce stosowane są konstrukcje lin wielosplotowych o odpowiednio niskiej odkrętności i punktowo-liniowym styku drutów w linie zwiększającej jej trwałość.

Ponieważ niemożliwe jest wykonanie w praktyce liny całkowicie zrównoważonej pod względem odkrętności, celowe jest stosowanie dodatkowego kryterium dla oceny względnego stopnia zrównoważenia liny. Za takie kryterium można przyjąć stosunek współczynnika odkrętności liny aktualnej konstrukcji do współczynnika odkrętności rozpatrywanej liny, w której wszystkie elementy (druty i splotki) są zwite w tym samym kierunku, czyli względny współczynnik zrównoważenia liny (względny współczynnik odkrętności), określony jest zależnością:

$$\psi_z = \frac{k}{k_w} \quad (12)$$

lub stosunek niezrównoważonej części współczynnika odkrętności do jego maksymalnej wartości, jaką lina może uzyskać w granicy danej konstrukcji, czyli stopień niezrównoważenia liny wyraża zależność:

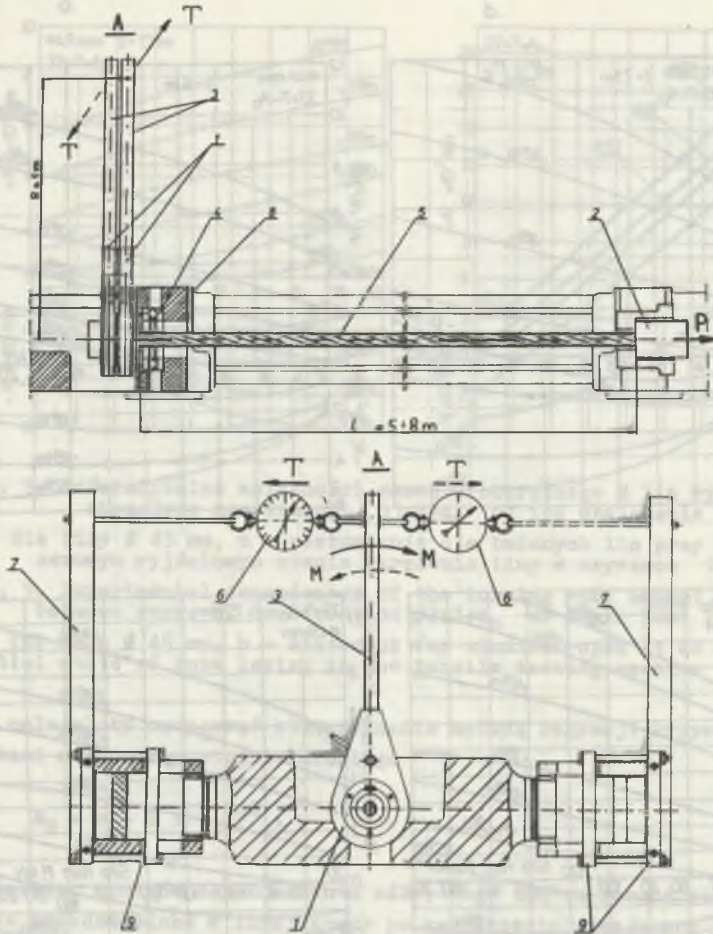
$$\psi_n = \frac{k_w - k}{k_w} \quad (13)$$

Dla rozpatrywanej konstrukcji liny  $\psi_z = 0,403$  oraz  $\psi_n = 0,596$ , wartości te są znacznie korzystniejsze niż w przypadku lin dwuwarstwowych typu GIG [2].

## 4. BADANIA LABORATORYJNE MOMENTU ODKRĘTNEGO

Badania laboratoryjne momentu odkrętnego odcinków lin wyrównawczych przeprowadzono według metody opracowanej w 1969 r. przez autora w Katedrze Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej [1]. Metoda ta do celów niniejszych badań została nieco zmieniona, jak to omówiono w pracach [1, 5, 7]. Ponieważ liny wyrównawcze okrągłe mocowane są do naczyń wyciągowych za pomocą zawiesi obrotowych i wykonują w trakcie ruchu naczyń wyciągowych ruchy obrotowe, przekroje tych lin mogą ulegać dokręcaniu lub rozkręcaniu względem stanu początkowego. Zjawisko to wpływa na zmianę momentu odkrętnego, dlatego w badaniach laboratoryjnych również dokręcano i odkręcano odcinki lin w stanowisku badawczym. Do tego celu zaprojektowano i wykonano podwójne mechanizmy zapadkowe. Szkic stanowiska badawczego przedstawiono na rys. 7. Elementem podstawowym tego stanowiska jest pozioma zrywarka do lin. Podczas badań jeden koniec odcinka liny połączony jest z wózkem i siłownikiem zrywarki, a drugi uchwyt liny opiera się o korpus zrywarki poprzez wzdłużne łożysko kulkowe. Podczas rozciągania liny uchwyt ten może się swobodnie obracać. Jego uchwycenie za pomocą dźwigni z dynamometrem pozwala na bezpośredni pomiar momentu odkrętnego liny.

W celu realizacji do i odkręcania liny w zrywance na uchwycie liny od strony łożyska kulkowego nasadzony jest podwójny mechanizm zapadkowy, w którym każda z zapadek ma możliwość obracania uchwytem w przeciwnie sobie strony. Jednym mechanizmem dokręca się linę, a drugim rozkręca. Odcinek liny w zrywance można do lub odkręcać co 5, 10 lub 15°. Badane odcinki lin o długości 5 i 7,73 m przy obciążeniu rozciągającym od 20 do 200 kN. Podczas badań liny w zrywance dokręcano do 60°, a następnie rozkręcano do -60° co 5, 10 lub 15°. Dla każdego stanu skrzywienia liny rejestrowano zależność momentu odkrętnego od obciążenia rozciągającego. Oprócz badań momentu odkrętnego przeprowadzono również badania swobodnych obrotów końca liny w zrywance, podczas których uchwyt liny od strony łożyska kulkowego nie był uchwycony, tak że wykonywał obroty ze wzrostem obciążenia  $P$  liny. Wyniki badań przedstawiono wykreslnie jako funkcje  $M = f(P)$  przy danym  $\varphi^0/m$  oraz  $M = f(\varphi)$  przy danym  $P$ , gdzie  $\varphi$  - jednostkowy kąt skrzywienia odcinka liny w zrywance. Podczas badań dla umownie zerowego stanu skrzywienia liny  $\varphi = 0$  °/m w zrywance wykonywano po 2 lub 3 cykle obciążenia i odciążania liny uzyskując dużą powtarzalność wyników pomiarów. Z wykresów przedstawionych na rys. 8 i 9 wynika, że dla dodatnich wartości momentu  $M$  i stopnia skrzywienia  $\varphi$  liny wykresy mają w przybliżeniu charakter liniowy, szczególnie dla zerowego stanu skrzywienia liny lub przy dokręceniu jej do  $\pm 1,9$  °/m. Nieliniowość wykresów wzrasta przy większych stopniach dokręcenia lub odkręcenia liny w zrywance. Z zestawienia wykresów na rysunku 9b wynika, że ogólnie funkcja  $M = f(P)$  najbardziej przydatna do celów praktycznych dla  $\varphi = 0$  °/m ma przebieg krzywoliniowy i wyniki ba-

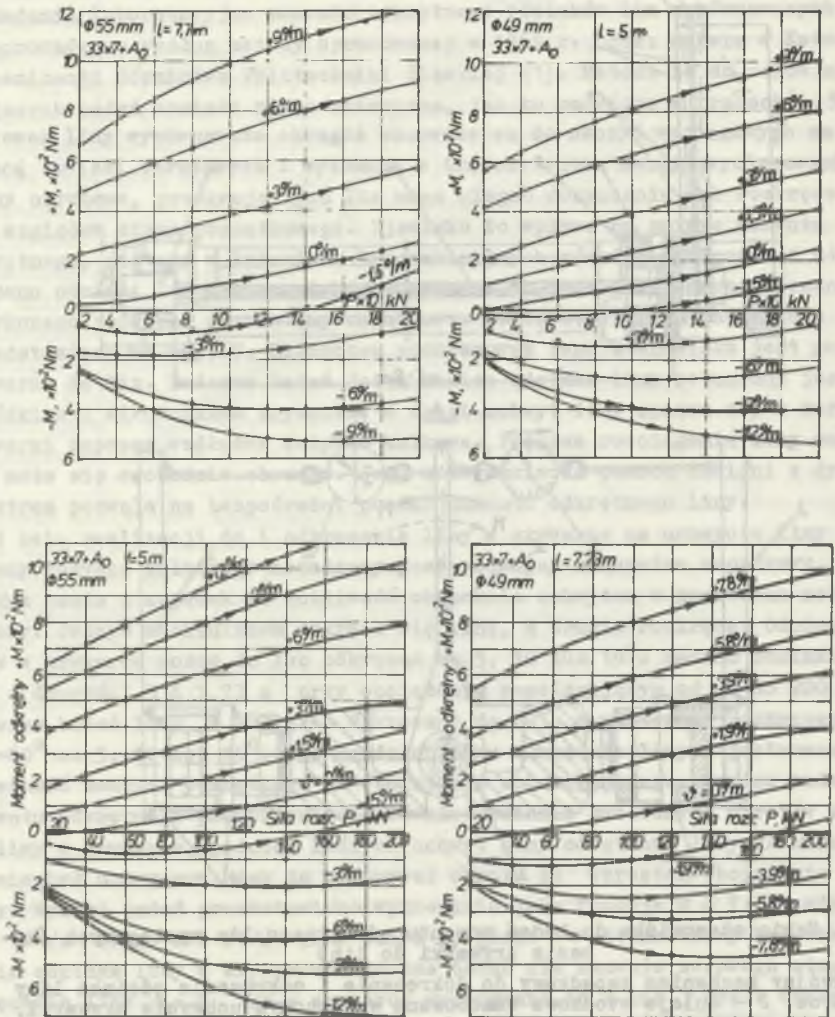


Rys. 7. Szkic stanowiska do badań momentu odkrętnego lin wyciągowych (na bazie zrywarki do lin)

1 - podwójny mechanizm zapadkowy do dokręcania i odkręcania odcinka liny w zrywarkę, 2 - tuleja stożkowa zamocowana w ruchomym uchwycie zrywarki, 3 - ramiona mechanizmów zapadkowych, 4 - wzdłużne łożysko kulkowe, 5 - badany odcinek liny, 6 - dynamometry, 7 - belka do mocowania dynamometru, 8 - płyta wsporcza, 9 - uchwyty belek, P - obciążenie liny, T - wskazanie dynamometru

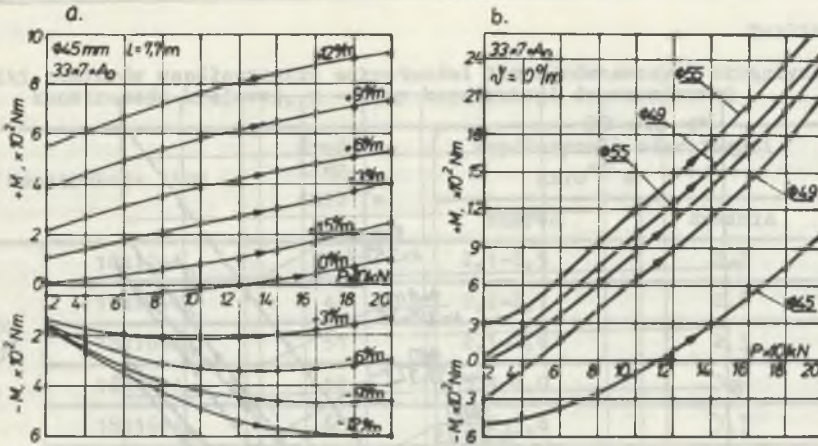
Fig. 7. Sketch of the stand for investigating the turning-off moment of lifting ropes (on the basis of tensile testing machine for ropes)

1 - double ratchet mechanism to tighten and undo rope segment in the tensile testing machine, 2 - conic sleeve tighten in the moving handle of the tensile testing machine, 3 - arms of the ratchet mechanism, 4 - longitudinal ball bearing, 5 - rope segment under study, 6 - dynamometers, 7 - beam to tighten the dynamometer, 8 - supporting plate, 9 - beam handles, P - rope loadings, T - dynamometer indicating



Rys. 8. Doświadczalne zależności momentu odkrętnego  $M$  lin wyrównawczych okrągłych konstrukcji  $33 \times 7 - A_0$  od ich obciążenia dla różnego stanu skręcenia liny w zrywarce, (+) - dokręcenie liny, (-) - odkręcenie liny. Odcinki lin z różnych kopalń

Fig. 8. Experimental dependences of the turning-off moment  $M$  of closed balance ropes of construction  $33 \times 7 - A_0$  of their load for different state of laying ropes in the tensile testing machine (+) - rope tightening, (-) - rope undoing. Rope segments from different coal mines



Rys. 9. Doświadczalne zależności momentu odkrętnego  $M$  lin wyrównawczych okrągłych konstrukcji  $33 \times 7 + A_0$  od ich obciążenia  $P$

a - dla liny  $\phi 45 \text{ mm}$ , b - zestawienie dla badanych lin przy tak zwanym zerowym wyjściowym stanie skręcenia liny w zrywarce  $\psi = 0^\circ/\text{m}$

Fig. 9. Experimental dependences of the turning -off moment  $M$  of closed balance ropes of construction  $33 \times 7 + A_0$  of their load  $P$

a - for rope  $\phi 45 \text{ mm}$ , b - statement for studied ropes at so called zero initial state of rope laying in the tensile testing machine  $\psi = 0^\circ/\text{m}$

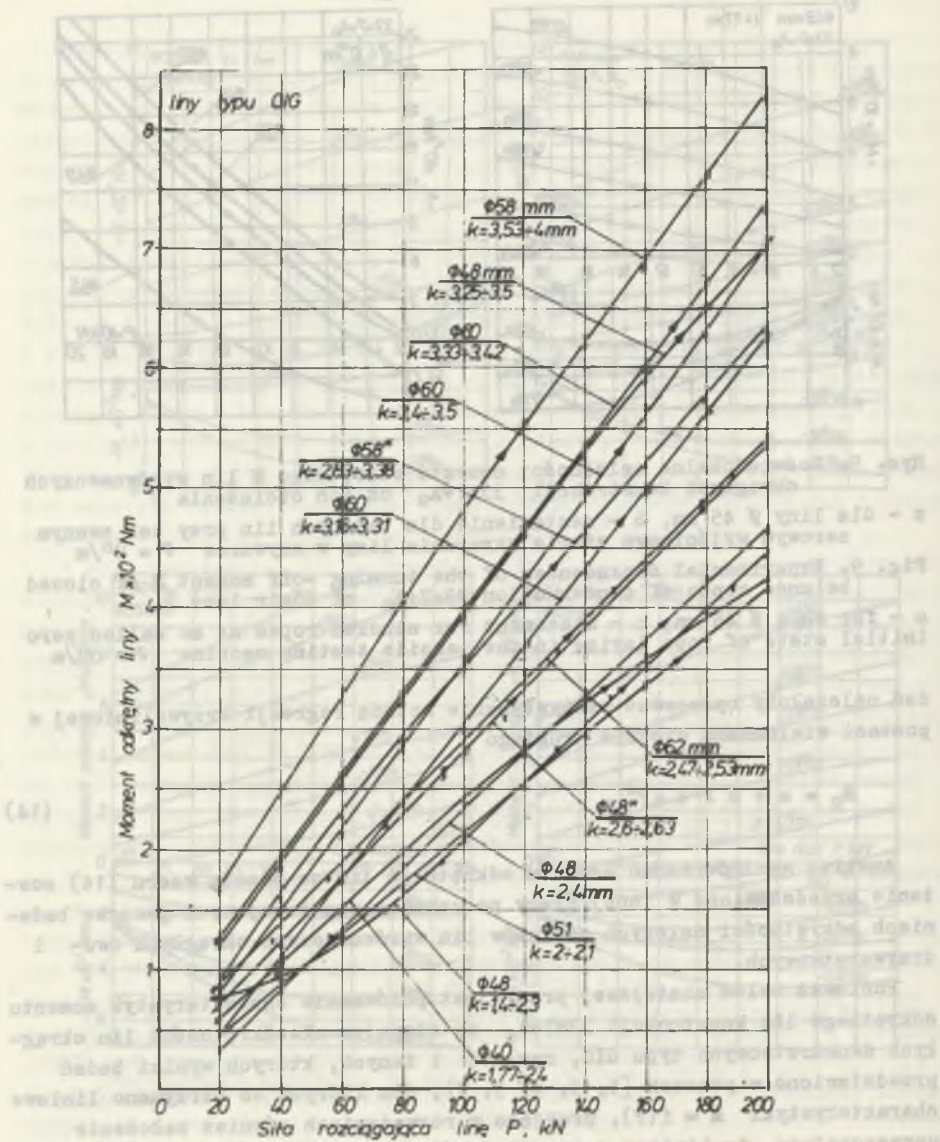
dań należałoby opracować statystycznie metodą regresji krzywoliniowej w postaci wielomianu stopnia drugiego

$$M_R = a + b P + c P^2 \tag{14}$$

Analiza wyników badań momentu odkrętnego lin za pomocą wzoru (14) zostanie przedstawione w innej pracy po zakończeniu trwających jeszcze badaniach odkrętności dalszych odcinków lin wyrównawczych okrągłych dwu- i trzywarstwowych.

Ponieważ celem niniejszej pracy jest porównanie charakterystyk momentu odkrętnego lin konstrukcji  $33 \times 7 + A_0$  ze stopniem nieodkrętności lin okrągłych dwuwarstwowych typu GIG, rys. 10 i innych, których wyniki badań przedstawiono w pracach [1, 3, 4, 5, 7], dla których to otrzymano liniowe charakterystyki  $M = f(P)$ , przyjęto w rozważaniach również założenie upraszczające, że liniowa jest zależność  $M = f(P)$  przy  $\psi = 0^\circ/\text{m}$  dla lin konstrukcji  $33 \times 7 + A_0$ . W tabelcy 2 zestawiono doświadczalne współczynniki odkrętności lin obliczone dla różnego obciążenia  $P$  ze wzoru:

$$k_d = \frac{M}{P}, \text{ m}, \tag{15}$$



Rys. 10. Doświadczalne zależności momentu odwróconego  $M$  lin wyrównawczych okrągłych dwuwarstwowych typu GIG w funkcji obciążenia  $P$

$k$  - doświadczalny współczynnik odwrócenia liny

Fig. 10. Experimental dependence of the turning-off moment  $M$  of closed balance two-layer ropes of type GIG in load function  $P$

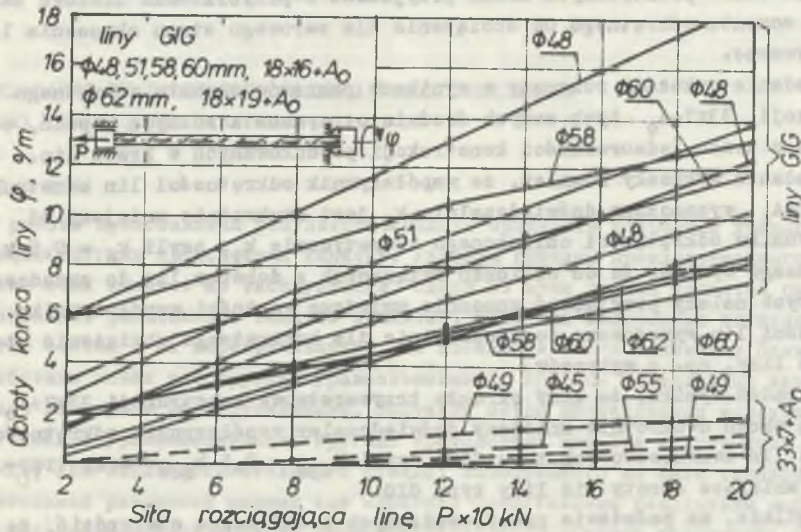
$k$  - experimental coefficient of rope turning-off



Tablica 2

Wyniki pomiarów współczynnika odkrętności lin wyrównawczych okrągłych konstrukcji krajowej, x - liny konstrukcji dwuwarstwowej

Konstrukcja liny		Średnica liny $d \times 10^{-3} \text{ m}$	Współczynnik odkrętności $k \times 10^{-3} \text{ m}$	
			zakres	średnia
liny GIG <sup>x</sup>	18x12+A <sub>0</sub>	40	2,1-2,5	2,3
	18x16+A <sub>0</sub>	48	2,2-2,7	2,5
	18x16+A <sub>0</sub>	51	2,1-2,6	2,3
	18x16+A <sub>0</sub>	58	3,4-4,0	3,7
	18x16+A <sub>0</sub>	60	3,2-3,6	3,3
	18x19+A <sub>0</sub>	62	2,0-2,9	2,45
trzywarstwowa 33x7+A <sub>0</sub>		45	0,5-1,2	0,85
		49	1,0-1,2	1,1
		55	1,2-1,4	1,3



Rys. 11. Doświadczalne zależności obrotów swobodnego końca odcinków lin w zrywarce dla lin dwuwarstwowych typu GIG i trzywarstwowych konstrukcji 33x7+A<sub>0</sub>.

Fig. 11. Experimental dependences of the free end turnings of rope segments in the tensile testing machine for twolayer ropes of type GIG and three-layer of construction 33x7+A<sub>0</sub>.

gdzie:

M i P z badań (z wykresów),  
 $k_d$  - doświadczalny współczynnik odkrętności liny, m.

Z porównania pomierzonych wartości współczynników odkrętności lin trzywarstwowych wynika, że są one dwukrotnie mniejsze od obliczonych teoretycznie, czyli  $k_d = 0,5 k_t$ . Z porównania natomiast pomierzonych wartości współczynników odkrętności lin dwuwarstwowych typu GIG i lin trzywarstwowych konstrukcji  $33x7+A_0$  wynika, że liny trzywarstwowe wykazują dwukrotnie mniejszy współczynnik odkrętności niż liny dwuwarstwowe typu GIG, co jest istotną zaletą tych lin. Również z badań swobodnych obrotów końca liny w zrywarce wynika, że liny  $33x7+A_0$  wykazują 3 do 6 razy mniejsze obroty niż liny dwuwarstwowe typu GIG (rys. 11), jest to również kolejna ich zaleta.

## 5. WNIOSKI

1. Dla lin wyrównawczych okrągłych konstrukcji  $33x7+A_0$  przy kolejnych obciążeniach i odciążeniach tego samego odcinka liny otrzymano wysoka powtarzalność wyników badań w postaci zależności  $M = f(P)$  i  $\varphi = f(P)$ .
2. Dla celów praktycznych można przyjmować w przybliżeniu liniową zależność momentu odkrętnego od obciążenia dla zerowego stanu skręcenia liny w zrywarce.
3. Badania wykazały rozrzuty w wynikach pomiarów momentu odkrętnego lin konstrukcji  $33x7+A_0$  tych samych średnic otrzymane z różnych kopalń, co świadczy o braku jednorodności konstrukcji produkowanych w kraju lin.
4. Badania wykazały również, że współczynnik odkrętności lin konstrukcji  $33x7+A_0$  wyznaczony doświadczalnie  $k_d$  jest dwukrotnie mniejszy od współczynnika odkrętności obliczonego teoretycznie  $k_t$ , czyli  $k_d = 0,5 k_t$ . Z powyższego wynika, że do obliczeń związanych z doborem lin do urządzeń wyciągowych należy przyjmować znacznie mniejsze wartości współczynnika odkrętności lin wyznaczone doświadczalnie dla konkretnego obciążenia statycznego liny, np. z wykresów.
5. Z badań wynika, że liny okrągłe trzywarstwowe konstrukcji  $33x7+A_0$  wykazują około dwukrotnie mniejszy doświadczalny współczynnik odkrętności  $k_{d3w}$  od lin dwuwarstwowych typu GIG, czyli  $k_{d3w} = 0,5 k_{d2w}$  oraz trzykrotnie mniejsze obroty niż liny typu GIG.
6. Ogólnie, na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że liny konstrukcji  $33x7+A_0$  pod względem stopnia nieokrętności znacznie są korzystniejsze niż liny typu GIG.

## LITERATURA

- [1] Carbogno A.: Moment odkrętny liny wyciągowej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo z. 52, Gliwice 1972.
- [2] Carbogno A.: Wpływ rozstawu naczyń wyciągowych, zawiesi i własności mechanicznych liny wyrównawczej okrągłej na jej pracę w górniczych urządzeniach wyciągowych. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 1983.
- [3] Carbogno A., Czaja J.: Moment odkrętny lin wyciągowych okrągłych wielopłotowych. Międzynarodowe Sympozjum pt. "Jak bezpieczna jest lina". OIPEC. AGH, GIG, Kraków - Katowice, 24-26.06.1981.
- [4] Carbogno A., Czaja J.: Badanie momentu odkrętnego lin wyciągowych dwuwarstwowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo z. 116, Gliwice 1982.
- [5] Carbogno A., Jarmołowicz Z.: Badanie momentu odkrętnego lin wyciągowych do głębienia szybów. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo z. 116, Gliwice 1982.
- [6] Gluško M.F.: Stalnye podjemnye kanaty. Izd. Technika, Kijew 1966.
- [7] Hankus J.: Moment odkrętu lin wyciągowych. Praca GIG, Komunikat nr 579, Katowice 1973.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Jan HANKUS

Wpłynęło do Redakcji w styczniu 1987 r.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНОГО МОМЕНТА УРАВНОВЕШЕННЫХ  
КРУГЛЫХ ТРЕХСЛОЙНЫХ КАНАТОВ

Р е з ю м е

В работе представлены результаты анализа прочности подъемных уравновешивающих круглых двухслойных канатов. Указаны причины преждевременного изъятия этих канатов из эксплуатации. Одной из этих причин является самопроизвольное расщепление канатов в шахтах. Этот вид деформации двухслойных канатов связан с их перекручиванием. Во избежание этого явления в Польше разработана новая конструкция уравновешивающих круглых трехслойных канатов с очень маленьким перекручиванием. Обсужден метод исследования момента перекручивания уравновешивающих круглых трехслойных канатов конструкции 33x7+A<sub>0</sub>, дан эскиз испытательного стенда, выполненного на базе типовой горизонтальной разрывной машины для канатов. Представлены результаты лабораторных исследований момента перекручивания этих канатов различного диаметра и с различной степенью перекручивания в разрывной машине (докручивание и откручивание каната). Также представлены результаты исследований свободного вращения каната в разрывной машине. Представлен метод теоретического расчёта момента перекручивания исследуемых канатов. Результаты были сравнены с теоретическими расчётами, выполненными на основе одного из при

нятых способов расчёта. Результаты исследований перекручивания канатов конструкции  $33 \times 7 + A_0$  сравнивались с такими же результатами исследований, проводимых ранее для уравнивающих круглых двухслойных канатов типа ГИГ, которые до сего дня являются в Польше основной конструкцией уравнивающих круглых канатов.

#### TURNING-OFF MOMENT INVESTIGATION OF THE CLOSED BALANCE THREE-LAYER ROPES

##### S u m m a r y

The paper presents chosen results of the durability analysis of the closed balance three-layer lifting ropes.

The reasons of two early withdrawal of the ropes from exploitation are given.

One of these reasons is self-delamination of the ropes in the shafts.

That kind of deformation of two-layer ropes is connected with their turning-off.

To eliminate that phenomenon a new construction of closed balance three-layer ropes with a very little turning-off has been worked out.

The paper presents the investigation method of turning-off moment of the closed balance three-layer ropes of construction  $33 \times 7 + A_0$ , and the sketch of investigation stand made on the basis of typical horizontal rope tensile testing machine.

Laboratory study results of the turning-off moment of the ropes with different diameters and different state of rope lay in the tensile testing machine were presented (tightening and undoing).

Investigation results of free rope turning in the tensile testing machine were also given.

Theoretical calculation of turning-off moment of the ropes under study was shown.

The results were compared to theoretical calculations made according to one of generally used calculation methods.

Turning-off investigation results of ropes of construction  $33 \times 7 + A_0$  were compared to the same investigation results carried out before for closed balance two-layer ropes of GIG type, that are still basic construction of closed balance ropes.