

Alfred CARBOGNO
Stefan KONIECZNY

BADANIE LINY WYRÓWNAWCZEJ OKRĄGLEJ TRZYWARSTWOWEJ

Streszczenie: Omówiono konstrukcję liny wyrównawczej trzywarstwowej oraz przedstawiono wyniki badań tej liny, zastosowanej w urządzeniach wyciągowych krajowych.

1. Wstęp

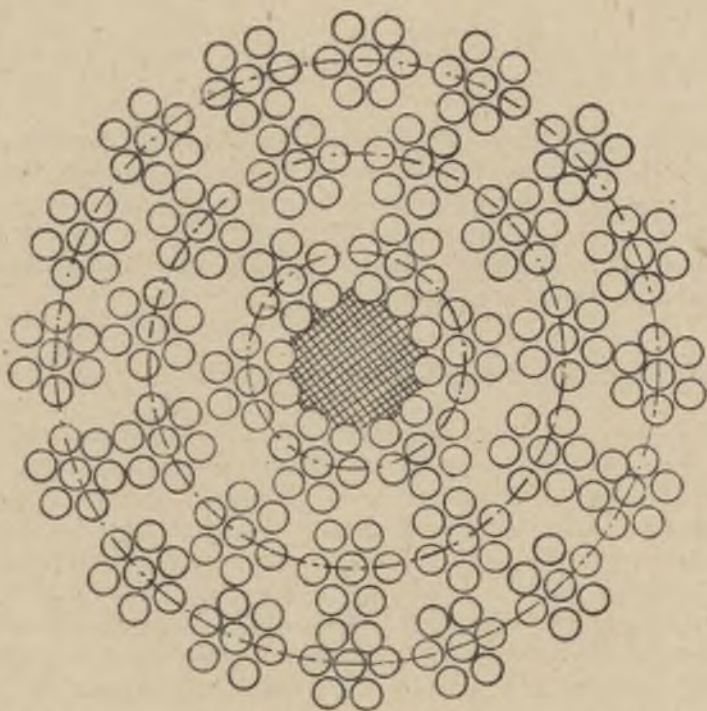
Obecnie dość powszechnie stosowane są w urządzeniach wyciągowych liny wyrównawcze okrągłe dwu lub trzywarstwowe. W kraju od niedawna /maj 1977 r./ zastosowano po raz pierwszy w górnictwie węglowym linę wyrównawczą okrągłą trzywarstwową produkcji krajowej w KWK "Manifest Lipcowy". Do tej pory w jednej z kopalń rud miedzi KGHM w Lublinie zastosowano linę wyrównawczą czterowarstwową produkcji angielskiej.

2. Konstrukcja liny wyrównawczej trzywarstwowej

Jednym z podstawowych wymagań stawianych linom wyrównawczym okrągłym oprócz odporności na rozwarstwienie się podczas eksploatacji jest możliwe maksymalne zrównoważenie wewnętrznych sił i momentów odkrętnych drutów w splocie oraz w warstwach splotów. Niezapewnienie tej własności linie wyrównawczej okrągłej jest przyczyną powstania podczas jej eksploatacji zmian parametrów konstrukcyjnych w wyniku jej kręcenia się w szybie oraz przeginań przy tworzeniu pętli w nawrocie. Zrównoważenie momentów odkrętnych w linach okrągłych wielowarstwowych uzyskuje się przez odpowiedni dobór skoków, kątów i kierunków zwięcia drutów w warstwach splotów oraz splotów w warstwach liny. Korzystniejsze możliwości zrównoważenia wewnętrznych momentów odkrętnych w linie występuje w linach okrągłych trzywarstwowych w porównaniu z linami wyrównawczymi okrągłymi dwuwarstwowymi.

Oprócz możliwie całkowitego zrównoważenia wewnętrznych sił sprężystych i momentów odkrętnych liny wyrównawcze dwu- lub trzywarstwowe powinny posiadać równą długość poszczególnych splotek we wszystkich warstwach splotów, co oznacza, że kąty zwięcia wszystkich splotek powinny być równe. Niezachowanie tego warunku powoduje nierównomierne obciążenie poszczególnych splotów.

tek w różnych warstwach podczas rozciągania liny, co prowadzi do niekorzystnego wzajemnego przemieszczania się warstw splotów w linie a w konsekwencji do rozwarstwienia się liny. W celu uzyskania znacznej trwałości liny przez uniknięcie wzajemnego punktowego styku drutów między poszczególnymi warstwami splotów liny wielosplotowe można wykonywać wg patentu Diepa, który zapewnia liniowy styk drutów pomiędzy warstwami splotów. Zastosowanie odprężania liny podczas jej produkcji zmniejsza technologiczny moment odkrętny lin wyrównawczych okrągłych. Na rys. 1 przedstawiono przekrój konstrukcyjny liny wyrównawczej okrągłej trzywarstwowej, a w tabelicy 1 jej dane konstrukcyjne i otrzymane z badań.



Rys. 1. Przekrój liny wyrównawczej okrągłej nieodkrętej trzywarstwowej produkcji krajowej $6x7+11x7+16x7+A_0$ /33x7+A₀/

Dane konstrukcyjne liny wyrównawczej okrągłej trzywarstwowej d=53 mm

Tablica 1

Lp.	Konstrukcja liny	Producent	Średnica liny d, mm		Skok liny h, mm		Prze-krój nośny F mm ²	Masa 1 mb kg	Druty	Smar	Skok i kierunek zwięcia drutów, h mm w warstwie		
			wg światła dectwa	pomierzona	wg światła dectwa	pomierzony					III zewn	II śród	I wewn
1.	/6x7x2,7/+ +/11x7x2,7/+ +/16x7x2,7/+A ₀ IIG120 trzywarstwowa	Polska "Lino-drut" Zakład Nr 2 w Sosnowcu	53	54,7	329	326	1322	12,1	ocynkowane warstwy G	Kolin-stal	16x7 pra-prawy 81	11x7 pra-prawy 81	6x7 lewy 81

c.d.

Skok i kierunek zwięcia splotów w warstwie liny	Kąt zwięcia warstwy splotów β			Kąty zwięcia drutów α°	Wytrzymałość drutów R _m daN/mm	Siła zrywająca		Sprawność liny η = $\frac{P_c}{P_w} \cdot 100\%$
	III zewn	II śród	I wewn			obliczona na P ₀ kN	wyznaczona na P _w kN	
16x7 pra-prawy 329 326 ^x	24° 10	22° 35	17° 32	11° 50'	120	1556,4	16839,257	1437,165
6x7 lewy 150 161 ^x								

x - wartości pomierzone

3. Badanie liny wyrównawczej okrągłej na rozciąganie

Charakterystyka rozciągania liny wyrównawczej okrągłej została wykonana przy użyciu zrywarki wytrzymałościowej firmy WPM Leipzig typu ZMLS-500. Przy obciążeniu $P_c = 1437,165 \text{ kN}$ nastąpiło zerwanie wszystkich splotów liny z poszczególnych jej warstw z wyjątkiem 4 splotów warstwy zewnętrznej. Zerwanie liny nastąpiło 200 mm od tulei. Sprawność wytrzymałościowa liny, określona jako stosunek siły zrywającej linę w całości P_c do sumy sił zrywających poszczególne druty /siły wyznaczonej/ P_w /wg świadectwa fabrycznego/ wynosiła:

$$\eta = \frac{P_c}{P_w} \times 100 \% = \frac{1437,165 \text{ kN}}{1683,9257 \text{ kN}} \times 100 = 85,34 \%$$

Uzyskana sprawność wytrzymałościowa liny jest bardzo wysoka jak dla tego typu lin.

4. Teoretyczne obliczenie momentu odkrętnego lin wyrównawczych

Jedną z istotnych charakterystyk mechanicznych liny wyrównawczej jest jej charakterystyka momentu odkrętnego lub zastępczego promienia odkrętności liny /współczynnika odkrętności liny/.

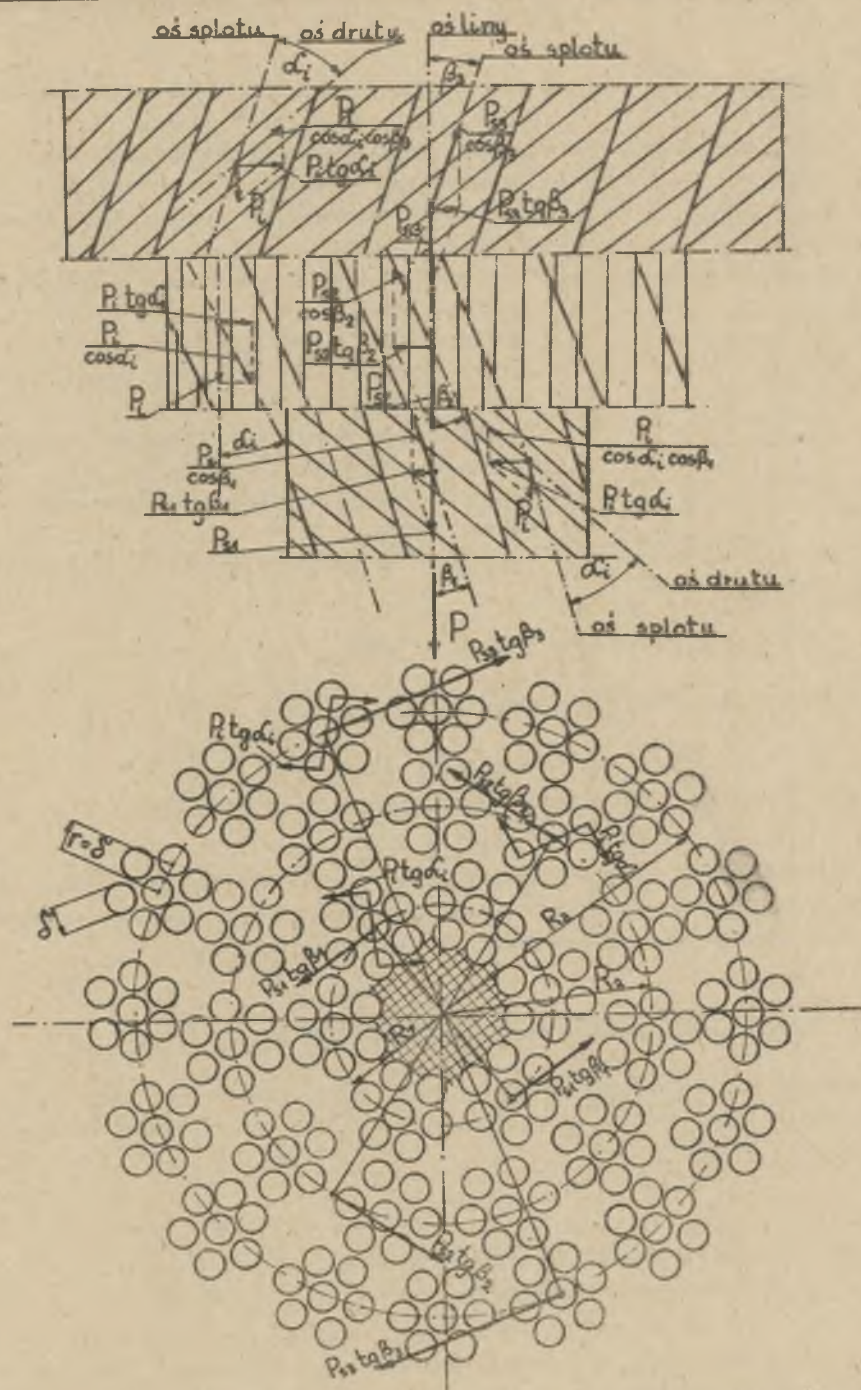
Współczynnik odkrętności liny k można obliczyć teoretycznie lub wyznaczyć doświadczalnie.

W obliczeniach teoretycznych poczyniono następujące założenia:

- w drutach liny nie występują naprężenia własne tylko siła P_1 w osi drutu, będąca składową siły rozciągowej liny P ,
- przekroje przyjętej do rozważań liny nie wykazują żadnych obrotów /deformacji skrętnych/,
- poprzeczna deformacja sprężysta i plastyczna w miejscach krzyżowania się drutów w linie wywołana siłą rozciągającą linę P , zostaje pominięta,
- nie uwzględnia się sił tarcia wewnętrznego w linie. W rzeczywistości w wyniku tarcia wewnętrznego w linie siła normalna P_1 w drucie zostaje przesunięta względem osi drutu,
- zachowane zostają warunki równowagi w odniesieniu do liny niezdeformowanej.

Wzór ogólny na obliczenie momentu odkrętnego liny dwuzwitej trzywarstwowej wg rys. 2 ma postać:

$$M = M_3 - M_2 - M_1 = \sum_1^{m_3} /P_{s3} \cdot R_3 \cdot \text{tg} \beta_3 \pm \sum_1^{m_2} i_3 \cdot P_{i3} \cdot r_{i3} \cdot \text{tg} \alpha_{i3} / - \sum_1^{m_2} /P_{s2} \cdot R_2 \cdot \text{tg} \beta_2 \pm \sum_1^{m_2} i_2 \cdot P_{i2} \cdot r_{i2} \cdot \text{tg} \alpha_{i2} / - \sum_1^{m_1} /P_{s1} \cdot R_1 \cdot \text{tg} \beta_1 \pm \sum_1^{m_1} i_1 \cdot P_{i1} \cdot r_{i1} \cdot \text{tg} \alpha_{i1} /$$



Rys. 2. Rozkład sił i momentów w lince wyrównawczej okrągłej trzywarstwowej.

gdzie:

- M_1, M_2, M_3 - moment odkrętny splotów warstwy wewnętrznej
 środkowej i zewnętrznej w linii,
 $\beta_1, R_1, \beta_2, R_2, \beta_3, R_3$ - kąty oraz promienie zwicha splotów w warstwie
 wewnętrznej, środkowej i zewnętrznej,
 P_{s1}, P_{s2}, P_{s3} - obciążenie rozciągające przypadające na splot
 w danej warstwie,
 $\alpha_{11}, r_{11}, \alpha_{12}, r_{12}, \alpha_{13}, r_{13}$ - kąty oraz promienie zwicha drutów w splotach
 danej warstwy,
 m_1, m_2, m_3 - liczba splotów w danej warstwie,
 n_1, n_2, n_3 - liczba warstw drutów w splocie warstwy wewnę-
 trznej, środkowej i zewnętrznej,
 i_1, i_2, i_3 - liczba drutów w warstwie splotu warstwy wew-
 nętrznej, środkowej i zewnętrznej,
 \pm - kierunek zwicha, współ- lub przeciwwzlitny
 /prawy, lewy/.

Wzór /1/, po wstawieniu obliczonych wartości, w oparciu o świadectwo liny, przyjmijmy postać:

$$M = M_3 - M_2 - M_1 = 1,068 \cdot P \cdot d \quad /2/$$

gdzie:

$d = 2,7 \text{ mm}$ - średnica drutów w linii, jednakowa

lub

$$M = 2,883 \cdot P = k_t \cdot P \quad /3/$$

$k_t = 2,883$ - teoretyczny współczynnik odkrętności liny
 trzywarstwowej $d = 53 \text{ mm}$

Ponieważ w obliczeniach teoretycznych momentu odkrętnego w założeniach są pewne uproszczenia ułatwiające jego wyliczenie, przeprowadzono badania doświadczalne charakterystyk momentu odkrętnego liny [5].

5. Badanie momentu odkrętnego lin wyrównawczych

Badania przeprowadzono według metodyki przedstawionej w pracy [1,2]. Współczynnik odkrętności liny obliczono dla każdej wartości siły rozciągającej P linę ze wzoru:

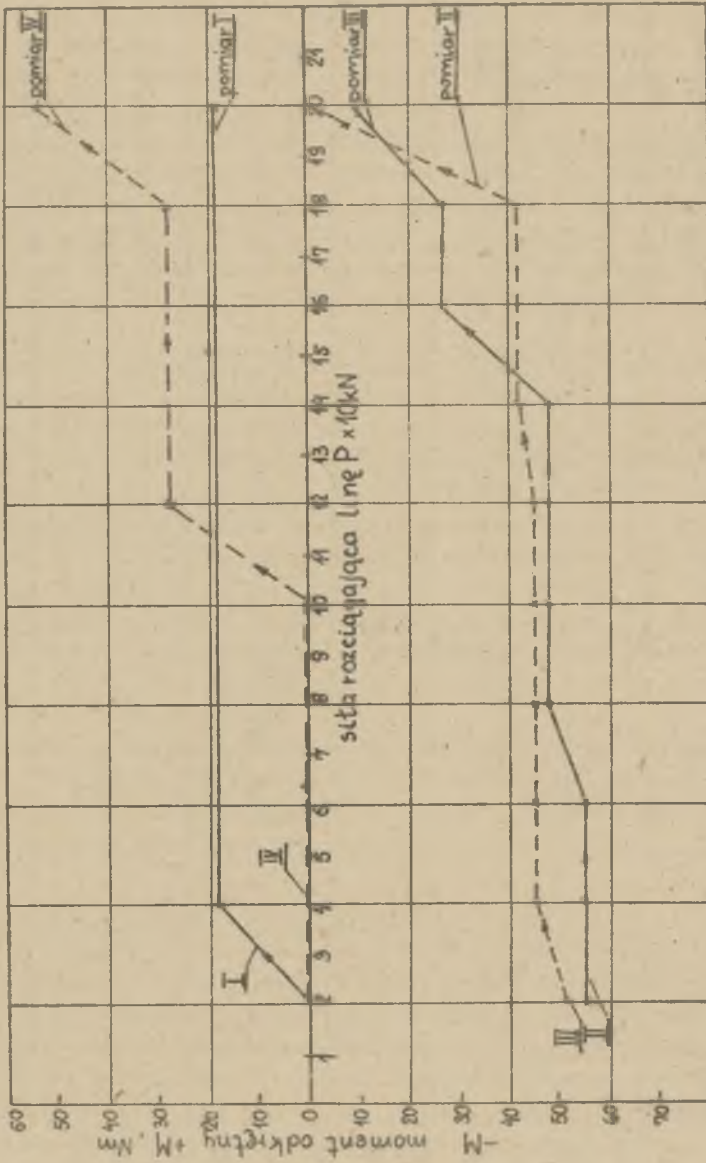
$$k = \frac{M_1}{P_1}, \text{ m} \quad /4/$$

gdzie:

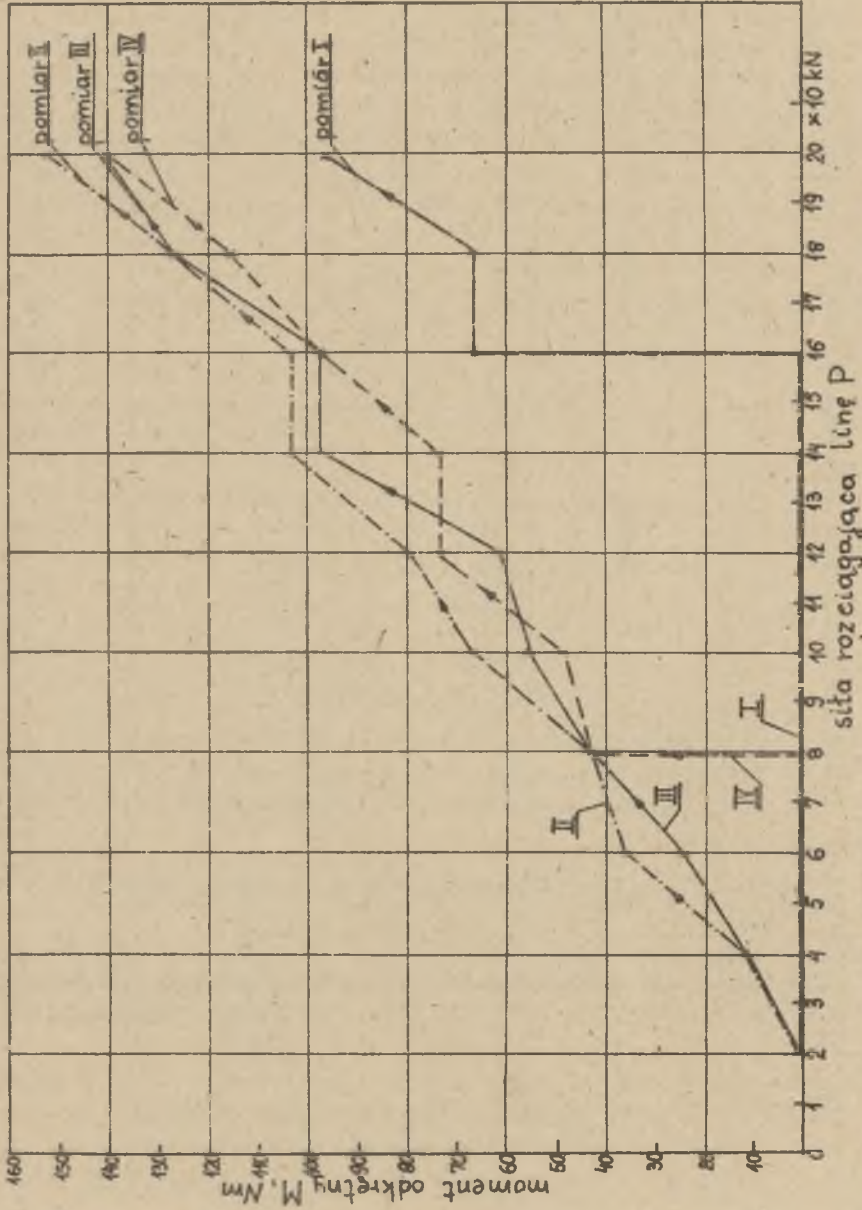
M_1 - zmierzony moment odkrętny liny, kNm

P_1 - siła rozciągająca linę kN.

W oparciu o wyniki tabelaryczne badań momentu odkrętnego liny $\phi 53 \text{ mm}$, zawarte w pracy [5], sporządzono wykresilne przedstawienie związków przebiegu momentów odkrętnych w zależności od siły rozciągającej linę dla badanych dwóch odcinków lin podczas czterech kolejnych pomiarów dla każdego



Rys. 3. Wykresy badań momentu odwrótnego odcinka 1 liny wyrównawczej okrągłej trzywarstwowej o $d=55 \text{ mm}$ / $d_p=54,7 \text{ mm}$, skok $h_p=327 \text{ mm}$



Rys. 4. Wykresy badań momentu odkrętnego odcinka 2 liny wyrównawczej okrągłej trzywarstwowej $d=53$ mm / $d_p = 54,3$ mm, skok $h_p = 326$ mm/

odcinka, co przedstawiono na rys. 3 i 4. Z otrzymanych wyników badań momentu odkrętnego liny odcinka 1 /rys.3/ wynika, że podczas II i III pomiaru w linie wystąpił wypadkowy moment odkrętny ujemny, co oznacza, że przeważał przeciwnie działający sumaryczny moment odkrętny dwu warstw splotów warstwy pierwszej i drugiej /wewnętrznych/, w wyniku czego warstwa splotów zewnętrznych jest dokręcana a nie odkręcana.

Podczas pomiaru I moment odkrętny jest dodatni /rozkręca linę/ i jest stały, natomiast podczas pomiaru IV wypadkowy moment odkrętny M jest zero-owy do pewnej wartości siły rozciągającej, a następnie rośnie skokowo co pewien zakres obciążenia. Z wykresu na rys.4 badań odcinka 2 wypadkowy moment odkrętny M dla wszystkich czterech pomiarów jest tego samego znaku /rozkręca linę/. Przebiegi tak samo rosną skokowo i wykazują mniejszy rozrzut podczas badań.

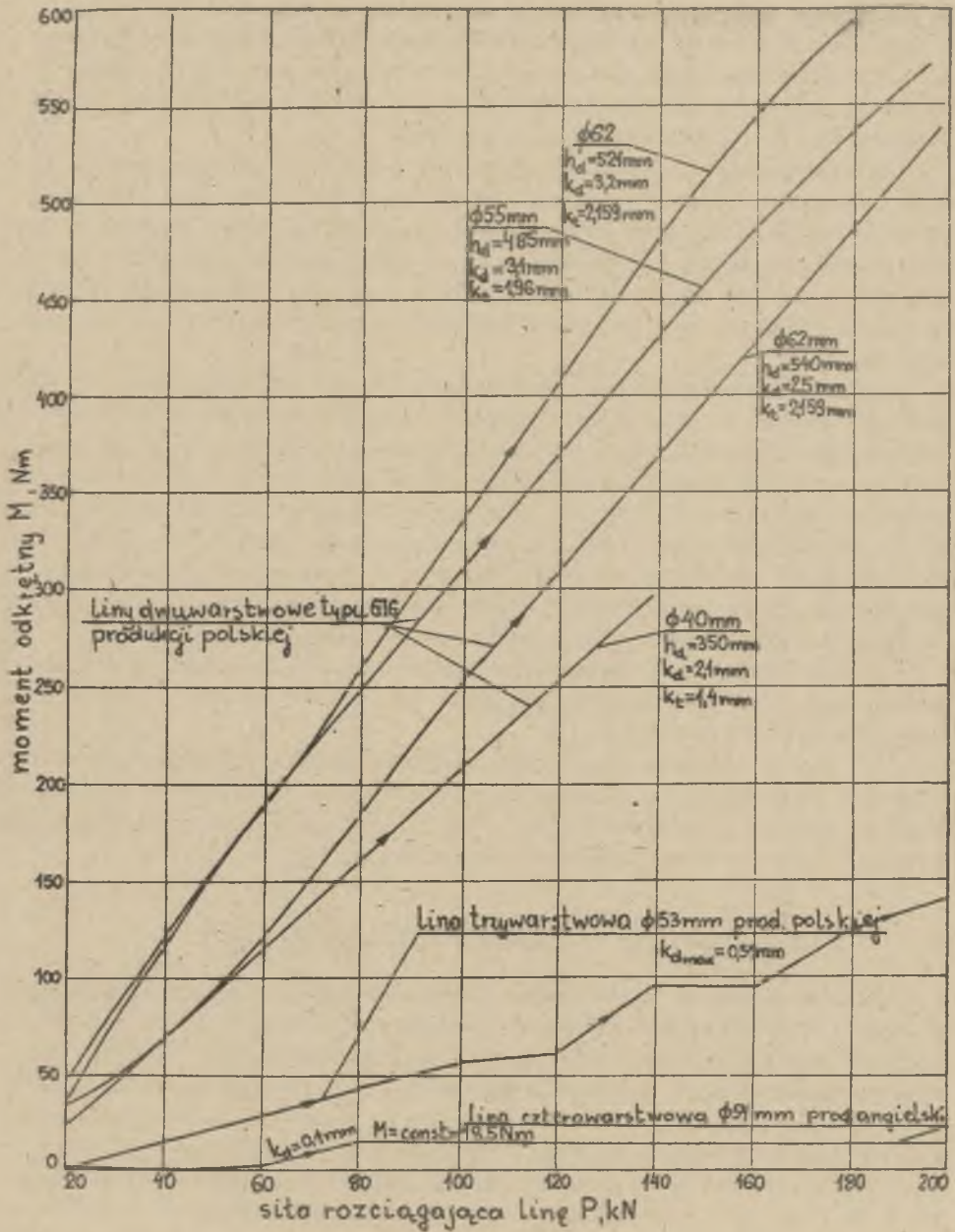
Ogólnie można powiedzieć, że otrzymane skokowe przebiegi momentów odkrętnych badanej liny są charakterystyczne dla tego typu konstrukcji lin trzywarstwowych, w których występuje zakleszczanie się splotów w warstwach liny oraz znaczny moment tarcia międzywarstwowego w linie. Ujemny wypadkowy moment odkrętny liny /dokręcanie liny/ jest możliwy w tych przypadkach, kiedy nie ma równomiernego naciągu splotów w warstwach liny, sploty zewnętrzne są wtedy mniej obciążone, co potwierdziła próba zrywania liny w całości, podczas której nie zerwały się 4 sploty w warstwie zewnętrznej liny. Podobne cechy lin wielowarstwowych przedstawiono w literaturze [3, 4].

W celu porównania charakterystyki odkrętności badanej liny z innymi konstrukcjami lin wyrównawczych okrągłych sporządzono wykresy na rys.4 w oparciu o dane z literatury [3].

Z wykresów doświadczalnych momentów odkrętnych, przedstawionych na rys. 5 wynika, że badana lina ma znacznie mniejszy moment odkrętny od lin dwuwarstwowych produkcji krajowej a kilka razy większy od momentu odkrętnego liny $d=54$ mm, czterowarstwowej produkcji angielskiej.

6. Badanie zachowania się liny wyrównawczej w szybie

Lina wyrównawcza trzywarstwowa o średnicy $d=53$ mm została zawieszona w układ lin wyrównawczych okrągłych wyciągu wielolinowego, w przedziale skipowym wschodniego szybu głównego KWK "Manifest Lipcowy". Układ lin wyrównawczych składa się z trzech lin okrągłych dwuwarstwowych o średnicy $d=58$ mm. W miejsce środkowej liny o średnicy 58 mm zawieszono nową linę okrągłą trzywarstwową o średnicy $d=53$ mm, której masa metra bieżącego 12,1 kg/m jest w przybliżeniu równa masie metra bieżącego liny wyrównawczej dwuwarstwowej $d=58$ mm - $q = 11,9$ kg/m. Lina była zakładana z nadszybia przy użyciu kołowrotu "Kasper". Podczas zakładania lina była opuszczana tzw. "swobodnym końcem liny" tylko z opaską na niej /bez mocowania jej w zawiesie/. W trakcie ruchu swobodnego końca liny w kierunku podszybia wykonywał on obroty, a



Rys. 5. Wykresy doświadczalne momentów odkrętnych lin wyrównawczych okrągłych różnych konstrukcji.

Wyniki badań momentu M_t i współczynnika tarcia f w łożyskach kulkowych zawiesi lin wyrównawczych okrągłych trzy- i dwuwarstwowych przy ich odkręcaniu w zawieszu

Tablica 2

Lp.	Położenie naczynia wyciągowego	Długość zwisającej liny L_1 , m	Lina nr 1 d=58 m, q=11,9 dwuwarstwowa			Lina nr 2 d=53 mm, q=12,2 trzywarstwowa			Lina nr 3, d=58 mm, q=11,9 dwuwarstwowa					
			ciężar q.L, N	średn. łożys. d_z , mm	M_t Nm	f	ciężar q.L, N	średn. łożys. d_z , mm	M_t Nm	ciężar q.L, N	średn. łożys. d_z , mm	M_t Nm	f	
1.	Nadszybie	820	97580	140	88	0,013	100040	140	46	0,0066	97580	140	80	0,012
2.	Miżanie naczyń	410	48790	140	40	0,012	50020	140	30	0,0086	48790	140	40	0,012
3.	Podszybie	20	2380	140	14	0,084	2440	140	18	0,105	2380	140	12	0,072

mianowicie łącznie po 100 m ruchu w dół - 1 obrót, po 460 m - 2 obroty, po 530 m - 3 obroty, po 670 m - 4 obroty, po 760 m - 5 obrotów niepełnych (4 i 1/2 obrotu).

W szybie lina trzywarstwowa podczas eksploatacji wykonuje łącznie 3 obroty, co jest bardzo małą liczbą w porównaniu z obrotami $9 \div 18$, wykonywanymi przez liny wyrównawcze okrągłe dwuwarstwowe, oczywiście w zależności od momentu tarcia w łożysku. W celu zorientowania się co do charakteru pracy liny trzywarstwowej w szybie przeprowadzono pomiary momentu i współczynnika tarcia w łożyskach zawiesi wszystkich trzech lin wyrównawczych $d=58$ mm i $d=53$ mm zawieszonych w urządzeniu wyciągowym skipowym. Wyniki badań zestawiono w tablicy 2.

Moment tarcia w łożysku obliczono ze wzoru:

$$M_t = T \cdot R \cdot Nm \quad /5/$$

gdzie:

T - siła wskazana przez dynamometr N

R - ramię zaczepienia dynamometru, m,

Moment tarcia w łożysku zawiesia określony jest także wzorem:

$$M_t = q \cdot L \cdot \frac{d_2}{2} \cdot f \quad /6/$$

gdzie:

L - długość zwisającego odcinka liny wyrównawczej, m

q - ciężar mb liny, Nm

d_2 - średnica podziałowa wzdłużnego łożyska kulkowego w zawiesiu, m

f - współczynnik tarcia w łożysku kulkowym zawiesia.

Współczynnik tarcia f obliczyć można ze wzoru:

$$f = \frac{2M_t}{q \cdot L \cdot d_2} = \frac{2TR}{qLd_2} \quad /7/$$

Z tablicy 2 wynika, że pomierzone współczynniki tarcia w łożyskach kulkowych są bardzo wysokie, co niekorzystnie odbija się na pracy wszystkich trzech lin wyrównawczych. Liny te wykonują małą liczbę obrotów, ponieważ są one hamowane w łożyskach zawiesi. Na znaczną wartość współczynnika tarcia w łożysku zawiesia lin wyrównawczych, jeżeli naczynie wyciągowe znajduje się w podszybiu, ma wpływ zbyt krótki odcinek zwisającej liny do nawrotu około 20 m /sztywność skrętna tego odcinka i bliskość punktu przeginań się liny w nawrocie/. Fakt ten może się przyczynić do niezbyt długiego czasu pracy lin wyrównawczych w szybie. W przypadku liny wyrównawczej $d=53$ mm trzywarstwowej pomierzony współczynnik tarcia w łożysku zawiesia dla naczynia wyciągowego znajdującego się w podszybiu jest największy, co oznacza że ma ona gorsze warunki pracy, w wyniku czego może szybciej ulec deformacji, np. rozwarstwieniu. Jednak ta niekorzystna sytuacja jest częściowo zrekompensovana przez mały współczynnik odkrętności liny trzywarstwowej k w porównaniu ze współczynnikiem odkrętności K lin wyrównawczych dwuwarstwowych.

7. Wnioski

1. Wyznaczony doświadczalnie współczynnik sprawności $\eta = 85,34\%$ liny wyrównawczej okrągłej trzywarstwowej o średnicy $d=53$ mm jest bardzo wysoki.
2. Wyznaczona doświadczalnie zależność momentu odkrętnego liny trzywarstwowej od jej siły rozciągającej ma przebieg skokowy, co upodabnia tę charakterystykę do charakterystyki liny czterowarstwowej $d=54$ mm produkcji angielskiej.
3. Wyznaczone doświadczalnie momenty odkrętne liny trzywarstwowej przy określonym obciążeniu rozciągającym są kilka razy mniejsze od lin wyrównawczych okrągłych dwuwarstwowych a kilka razy większe od momentu odkrętnego liny wyrównawczej okrągłej czterowarstwowej $d=54$ mm produkcji angielskiej, co świadczy korzystnie o nowowprowadzonej konstrukcji liny wyrównawczej 33 x 7 + Ao.
4. Badania wykazały, że występuje znaczna różnica pomiędzy momentem odkrętnym liny okrągłej trzywarstwowej wyznaczonym doświadczalnie a obliczonym teoretycznie, np. $k_t = 2,883$ a $k_d = 0,77$ mm. Powyższe poddaje pod wątpliwość stosowanie do obliczeń dotychczas używanych w kraju wzorów na obliczenie teoretycznego momentu odkrętnego lin trzy i więcej warstwowych. Podstawą do analiz porównawczych tego typu konstrukcji lin powinny być doświadczalne charakterystyki momentu odkrętnego.
5. Lina wyrównawcza nowej konstrukcji 33 x 7 + Ao wykazuje w szybie mniejszą liczbę obrotów w porównaniu z obrotami lin dwuwarstwowych.
6. Pomierzone wartości współczynników tarcia w łożyskach kulkowych zawiesi lin wyrównawczych w szybie KWK "Manifest Lipcowy" są bardzo wysokie. Największa wartość wystąpiła w zawiesiu liny trzywarstwowej $f=0,105$, co stwarza jej gorsze warunki pracy w szybie z uwagi na utrudnianie jej swobodnego kręcenia. To w konsekwencji może doprowadzić do uszkodzenia liny. Zaznacza się jednocześnie, że na tak wysoką wartość współczynników tarcia f w łożyskach zawiesi lin w cytowanym szybie ma znaczny wpływ zbyt krótki odcinek zwisającej liny wyrównawczej /wtedy jego sztywność na skręcanie jest duża/, jeżeli naczynie wyciągowe znajduje się w pod-szybiu.

LITERATURA

- [1] Carbogno A.: Badanie stopnia odkrętności lin owalnosplotowych ϕ 63 mm i ϕ 62 mm. Katedra Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej, Gliwice 1969.
- [2] Carbogno A.: Moment odkrętny liny wyciągowej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo, z. 52, Gliwice 1972.
- [3] Carbogno A., Konieczny S.: Badania lin wyrównawczych okrągłych. Konferencja pt. "Metody pomiarów i badań urządzeń wyciągowych. Biuletyn Techniczny SITG Nr 3, Rybnik 1976.
- [4] Carbogno A., Łydka F.: Liny wielowarstwowe w wyciągach szybowych. Bezpieczeństwo Pracy w Górnictwie. WUG, Katowice 1971, Nr 12.
- [5] Badanie momentu odkrętnego oraz wyznaczenie współczynnika sprawności liny wyrównawczej okrągłosplotowej $d=53$ mm, konstrukcji $6x7+11x7+16x7+4a$. Laboratorium Badania Lin i Zawiesi. Zakład Doświadczalny "Cuprum" przy KGHM w Lubinie, Lubin, marzec 1977.

ИСПЫТАНИЯ УРАВНОВЕШИВАЮЩЕГО КРУГЛОГО ТРЕХСЛОЙНОГО КАНАТА

Резюме

В статье рассматривается конструкция уравновешивающего трехслойного каната а также приводятся результаты испытаний данного каната в отечественных подъемных установках.

TESTING A THREE-LAYER ROUND BALANCE ROPE

Summary

The construction of the rope has been presented along with test results of a rope used in Polish Hoists.