

KONFERENCJA: MODELOWANIE GORNICZYCH MASZYN WYCIĄGOWYCH

9 - 10. XII. 1977

JÓZEF WOJNAROWSKI, JANUSZ KARP
INSTYTUT PODSTAW KONSTRUKCJI MASZYN
POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ
GLIWICE

WPLYW ZMIANY MOMENTU ODKRĘTNEGO NA WŁASNOŚCI
REOLOGICZNE LIN WYCIĄGOWYCH

W pracy przedstawiono koncepcję wzmiankowaną do badań własności reologicznych górniczych lin z równoczesną zmianą momentu odkrętnego. W wyniku przeprowadzonych badań wykazano, że w zależności od wartości spadku momentu odkrętnego obserwuje się znaczne obniżenie wartości modułu sprężystości "E" i wyraźny wzrost tłumienia statycznego. Uzyskane wyniki stanowią interesujący przyczynek dla konstruktorów zajmujących się projektowaniem górniczych układów wyciągowych.

1. Wprowadzenie

Znajomość własności reologicznych lin jest niezbędnym elementem w projektowaniu układów wyciągowych. Zarówno w analizie statycznej jak i dynamicznej własności te decydują o sztywności i podatności układu.

W modelowaniu drgań lin, sztywność względnie podatność dynamiczna układu ma decydujący wpływ na maksymalne wartości przemieszczeń i sił, a przez to decyduje o parametrach rozruchu i hamowania, a w konsekwencji o niezawodności układu. Te i inne czynniki wpływają na duże zainteresowanie przemysłu własnościami reologicznymi lin. Tym więcej, że wyniki badań odcinków i elementów liny wskazują, że ich własności są różne dla różnego stopnia złożoności konstrukcji. Fakt ten potwierdziło wielu badaczy [3, 7, 10, 5]^{*)}. Celem pierwszej części niniejszego opracowania jest próba oceny wielkości modułu sprężystości "E" dla symulowanego spadku momentu odkrętnego liny. Postawiono następującą tezę: spadek momentu odkrętnego wpływa na obniżenie wielkości modułu sprężystości podłużnej. Wyniki doświadczeń potwierdziły zupełnie tę tezę, a także wykazały, że spadek modułu sprężystości "E" jest znaczny.

^{*)} Przejrzany przegląd literaturowy podano w pracy [6].

2. Moment odkrętny liny wyciągowej

Pod wpływem obciążenia w śrubowo zwitej liny powstaje moment dążący do jej odkręcenia [18]. Ogólnie przyjmuje się, że drut w obciążonej osiowo liny podany jest zginaniu, skręcaniu i rozciąganiu. Wynikające z tego wewnętrzne siły sprężyste wywołują w przekroju poprzecznym liny technologiczny moment odkrętu.

W układzie górniczym maszyny wyciągowej moment odkrętny liny nośnej wywołany jest:

- obciążeniem statycznym liny nad zawiesiem,
- zmieniającym się w czasie pracy wyciągu ciężarem własnym nośnej liny wyciągowej,
- technologicznym momentem skręcającym tkwiącym w lince, powstałym podczas jej produkcji.

W szybie z przewodnikami sztywnymi moment odkrętny równoważony jest z jednej strony reakcją w przewodnikach, a z drugiej reakcją sił tarcia w rowku bębna lub koła. Zależność pomiędzy momentem odkrętnym liny, a jej obciążeniem statycznym jest wprost proporcjonalna do obciążenia liny [16]

$$M = kQ, \quad [kGm] \quad (1)$$

gdzie:

k - zastępczy promień odkrętności liny,

Q - całkowite obciążenie statyczne liny nad zawiesiem.

Współczynnik " k " przyjmuje wartość z przedziału 0,0012-0,0082 [16].

3. Badania własności reologicznych lin śrubowo zwitych

3.1. Wyznaczanie wzdłużnych odkształceń lin stalowych w warunkach obciążeń statycznych

Wyznaczenie wzdłużnych odkształceń lin przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej firmy Amsler o zakresie 50000P.G. Do tego celu został zaprojektowany oraz wykonany specjalny przyrząd umożliwiający realizację przemieszczenia kątownego dolnej głowicy. Dzięki zastosowaniu łożyska kulkowego wzdłużnego w maksymalnym stopniu zredukowano oddziaływanie momentu tarcia w czasie obrotu dolnego końca liny przy narastaniu obciążenia. Schemat przyrządu pomiarowego pokazano na rys. 1. Pomiary odkształceń lin dokonano dla:

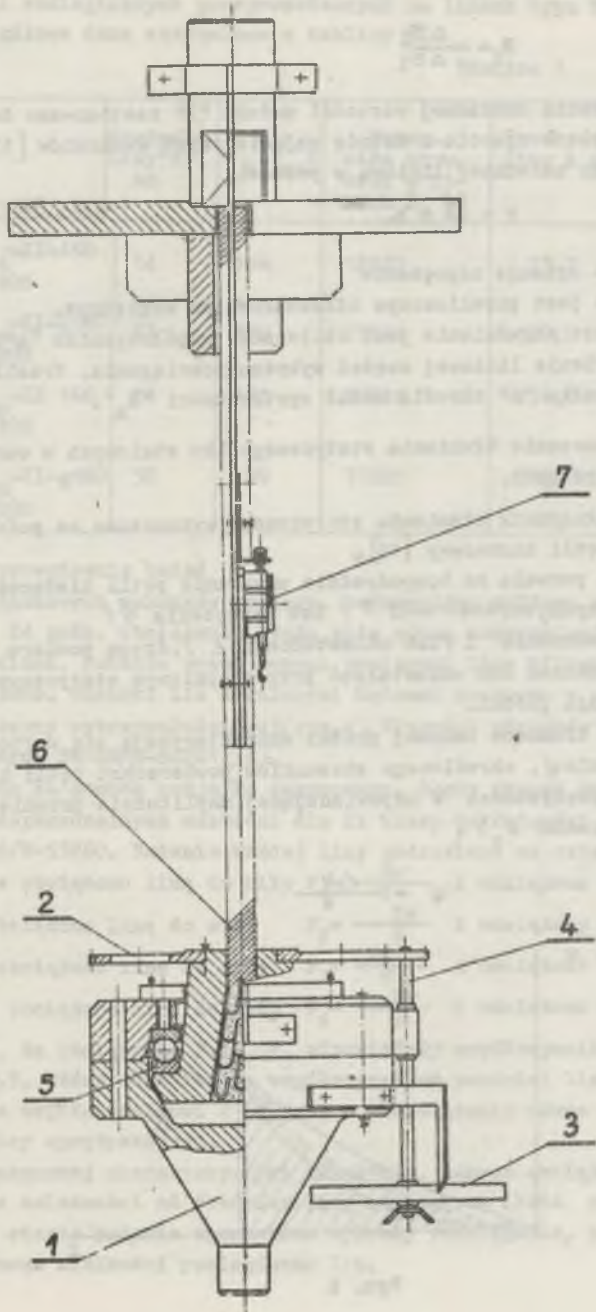
- przypadku swobodnego obrotu liny ze wzrostem jej obciążenia
- przy zablokowaniu obrotu liny ze wzrostem jej obciążenia
- przy częściowo swobodnym obrocie liny ze wzrostem jej obciążenia.

Wartość modułu sprężystości podłużnej " E " wyznaczono korzystając z następujących zależności

$$E_{\text{śr}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i, \quad (2)$$

gdzie:

- 1. Uchwyt dolny
- 2. Koła zębate
- 3. Podziałka kątowna
- 5. Łożysko
- 6. Lina
- 7. Czujnik zegarowy



Rys. 1

gdzie:

$$E_1 = \frac{\Delta \sigma_1}{\Delta \epsilon_1} \quad (3)$$

Dla uzyskania dokładnej wartości modułu "E" zastosowano do obliczeń korelację liniową w oparciu o metodę najmniejszych kwadratów [17].

Poszukując zależność liniową w postaci

$$y = ax + b, \quad (4)$$

gdzie:

y- opisuje naprężenie

x- jest przeliczonym odkształceniem względnym.

Rozwiązanie zagadnienia jest obliczenie współczynnika "a", który określa nam pochylenie liniowej części wykresu rozciągania. Przeliczona wartość współczynnika "a" określa moduł sprężystości "E_a".

3.2. Wyznaczanie tłumienia statycznego lin stalowych w warunkach obciążeń statycznych.

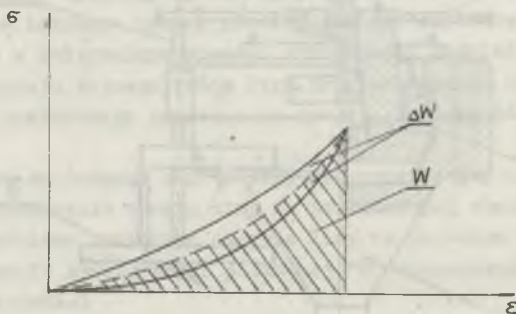
Współczynnik tłumienia statycznego wyznaczono na podstawie metody statycznej pętli historezy [15].

Metoda ta pozwala na bezpośrednio uzyskanie pętli histerezy (rys.2) we współrzędnych, wartość siły F / lub naprężenia σ /

- przemieszczenie l /lub odkształcenie ϵ /, drogą pomiaru odpowiednich przemieszczeń lub odkształceń przy stopniowym statycznym obciążeniu i odciążeniu próbki.

Własności tłumiące badanej próbki charakteryzują się wartością względnego rozproszenia ψ , określonego stosunkiem powierzchni pętli histerezy ΔW do energii sprężystości W odpowiadającej amplitudzie przemieszczenia Δl_0 (odkształcenia ϵ_0).

$$\psi = \frac{\Delta W}{W} \quad (5)$$



Rys. 2

3.3. Dane konstrukcyjne liny użytych do badań

Badania własności reologicznych przeprowadzonych na linach typu T6x37+A₀-Z/_{s-n}-II. Szczegółowe dane zestawione w tablicy 1.

Tablica 1

lp. Typy liny	średnica liny "d" mm	R_m kG/mm ²	Sumar. siła zryw. drut w linach F_w kG	Przekrój liny A mm ²
1. T6x37+A ₀ -Z/ _{s-n} -II-160 wg. PN-69/M-80208	14	166	12237	73,7
2. T6x37+A ₀ -Z/ _{s-n} -II-g180 wg. PN-69/M-80208	22	170	33364	172,0
3. T6x37+A ₀ -Z/ _{s-n} -II 160 wg. PN-69/M-80208	28	170	50214	294,0
4. T6x37+A ₀ -Z/ _{s-n} -II-g180 wg. PN-69/M-80208	32	180	72283	386,0

3.4. Sposób przeprowadzenia badań

Dla zachowania jednakowych warunków pomiaru, badane liny poddano uprzednio przez co najmniej 24 godz. obciążeniu stałą siłą równą maksymalnej sile stosowanej przy badaniach, Ponadto przed samymi pomiarami linę kilkakrotnie obciążono i odciążono. Odcinki lin z zalanyimi końcami mocowano w specjalnych uchwytach maszyny wytrzymałościowej (rys. 1). Długości odcinków lin zachowano zgodnie z normą PN-68/M-80201 [2].

Wydłużenia mierzono za pomocą czujnika zegarowego. Błędy wskazań czujnika nie przekraczały dopuszczalnych wartości dla II klasy dokładności określonej w normie PN-68/M-53260. Badania każdej liny podzielono na cztery etapy:

W pierwszym etapie obciążono linę do siły $F_1 = \frac{F_w}{7}$ i odciążono do 0 kG.

W drugim etapie obciążono linę do siły $F_2 = \frac{F_w}{6}$ i odciążono do 0 kG.

W trzecim etapie obciążono linę do siły $F_3 = \frac{F_w}{5}$ i odciążono do 0 kG.

W czwartym etapie obciążono linę do siły $F_4 = \frac{F_w}{2}$ i odciążono do 0 kG.

Należy podkreślić, że obciążenia F_1, F_2, F_3 odpowiadały współczynnikom bezpieczeństwa n=7,6,5, które odpowiadają współczynnikom pewności lin. Obciążenie F_4 odpowiada współczynnikowi 2 i jest w przybliżeniu równe sile odpowiadającej granicy sprężystości.

Dla określenia statycznej charakterystyki tłumienia, zakres obciążeń od 0 do F_4 podzielono w zależności od średnicy liny na większą ilość etapów obciążeń. Po każdym etapie badania wyznaczono wykresy rozciągania, na podstawie których obliczono wielkości reologiczne lin.

3.5. Wyniki badań

Przykładowo na rysunkach 3-12 zestawiono wykresy rozciągania otrzymane podczas badań dla liny o średnicy \varnothing 28 mm przy możliwości obrotu liny przy obciążeniu i odciążeniu

3.6. Analiza wyników badań własności reologicznych dla obciążeń statycznych

Pierwsze badania przeprowadzono na linie \varnothing 14 mm. Wyznaczone wartości modułu sprężystości wynosiły odpowiednio:

Dla swobodnego obrotu liny

$0,1933 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2 - 0,2931 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$ - dla obciążenia

$0,1885 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2 - 0,2233 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$ - dla odciążenia

Dla liny zablokowanej

$0,3923 \cdot 10^6 - 0,6372 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$ - dla obciążenia

$0,3481 \cdot 10^6 - 0,5411 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$ - dla odciążenia

Współczynnik tłumienia statycznego

0,3 - 0,55 - przy swobodnym obrocie

0,21 - 0,35 - przy zablokowaniu

Dla liny \varnothing - 22 mm.

W przypadku swobodnego obrotu liny

$0,2031 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2 - 0,3014 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$ - dla obciążenia

$0,1941 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2 - 0,2948 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$ - dla odciążenia

Dla liny zablokowanej

$0,6181 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2 - 0,8711 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$ - dla obciążenia

$0,5422 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2 - 0,7943 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$ - dla odciążenia

Współczynnik tłumienia statycznego wynosił

0,3 - 0,65 - przy swobodnym obrocie

0,18 - 0,28 - przy zablokowaniu

Kolejne badania przeprowadzono na linie \varnothing = 28 mm.

W przypadku swobodnego obrotu liny wartość E_2 wynosiła:

0,2141 10^6 -0,3023 10^6 kg/m² - przy obciążeniu
 0,1781 10^6 kg/m²-0,2711 10^6 kg/m² - przy odciążeniu

Dla liny zablokowanej

0,3551 10^6 kg/m²-0,6676 10^6 kg/m² - przy obciążeniu
 0,3341 10^6 kg/m²-0,6378 10^6 kg/m² - przy odciążeniu

Współczynnik tłumienia statystycznego

0,33 - 0,65 - przy swobodnym obrocie
 0,12 - 0,30 - przy zablokowaniu

Dla liny ϕ - 32 mm wartości E_a wynosiły

W przypadku swobodnego obrotu.

0,2113 10^6 kg/m²-0,3611 10^6 kg/m² - przy obciążeniu
 0,1733 10^6 kg/m²-0,2988 10^6 kg/m² - przy odciążeniu

Dla liny zablokowanej

0,6387 10^6 kg/m²-0,8544 10^6 kg/m² - przy obciążeniu
 0,5194 10^6 kg/m²-0,7277 10^6 kg/m² - przy odciążeniu

Współczynnik tłumienia statycznego

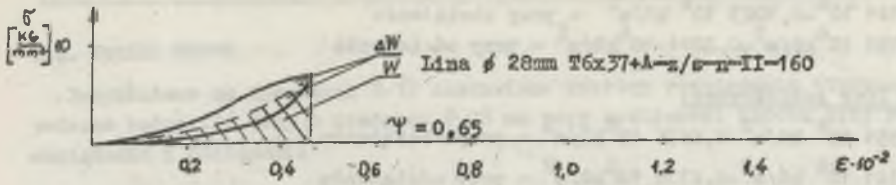
0,28 - 0,62 - przy swobodnym obrocie
 0,15 - 0,32 - przy zablokowaniu liny.

W tablicach 2,3 zestawiono otrzymane wyniki badań.

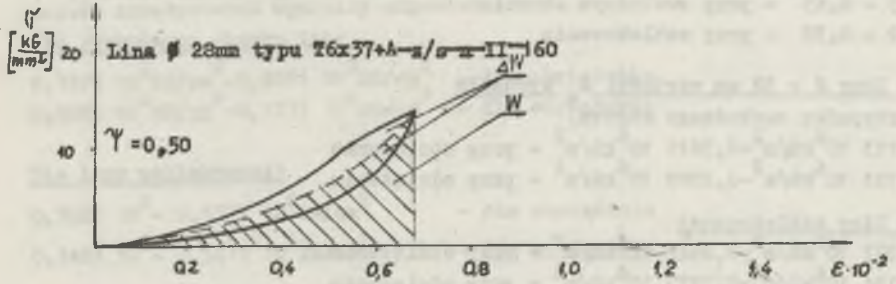
W tabelcy 2) zestawiono wartości modułów sprężystości E_{sr} , E_a lin dla obciążeń odpowiadających współczynnikom pewności $n=7,6,5, 2$, w przypadku swobodnego obrotu liny ze wzrostem jej obciążenia i odciążenia.

Tablica 2

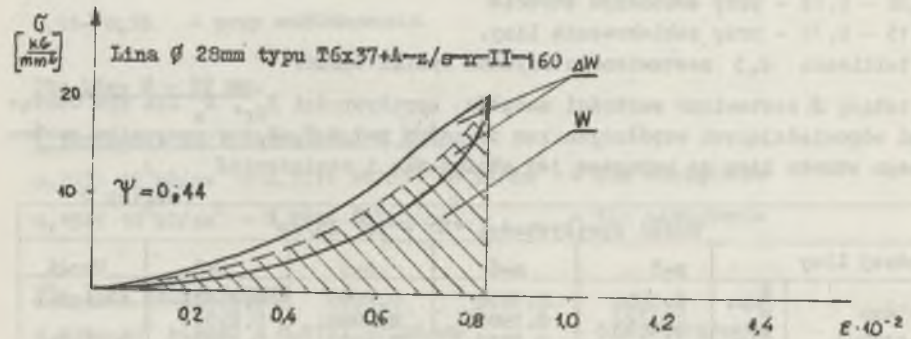
Rodzaj liny		Moduł sprężystości "E" - 10^6 kg/cm ²				Uwagi
		n=7	n=6	n=5	n=2	
ϕ -14mm	E_{sr}	0,1884	0,1934	0,2099	0,2711	obciąż.
	E_a	0,1933	0,1987	0,1988	0,2931	
l-1100mm	E_{sr}	0,1873	0,1911	0,1981	0,2100	odciąż.
	E_a	0,1885	0,2100	0,2167	0,2235	
ϕ -22mm	E_{sr}	0,1988	0,2011	0,2248	0,2931	obciąż.
	E_a	0,2031	0,2248	0,2213	0,3014	
l-1100mm	E_{sr}	0,1841	0,1988	0,2137	0,2803	odciąż.
	E_a	0,1941	0,2182	0,2392	0,2948	
ϕ -28mm	E_{sr}	0,1944	0,2156	0,2351	0,3028	obciąż.
	E_a	0,2141	0,2351	0,2597	0,3387	
l-1580mm	E_{sr}	0,1664	0,1877	0,2075	0,2634	odciąż.
	E_a	0,1781	0,2011	0,2188	0,2711	
ϕ -32mm	E_{sr}	0,2021	0,3000	0,2931	0,3416	obciąż.
	E_a	0,2141	0,2477	0,2500	0,3612	
l-1680mm	E_{sr}	0,1645	0,1956	0,2116	0,2892	odciąż.
	E_a	0,1735	0,2005	0,2200	0,2988	



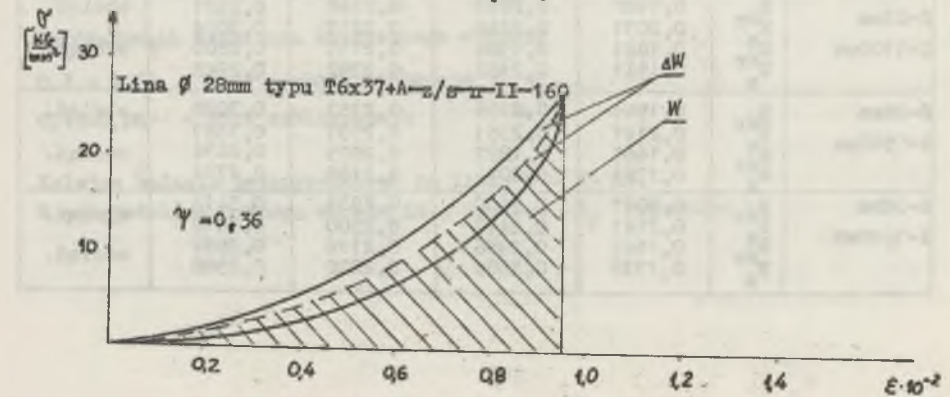
Rys. 3



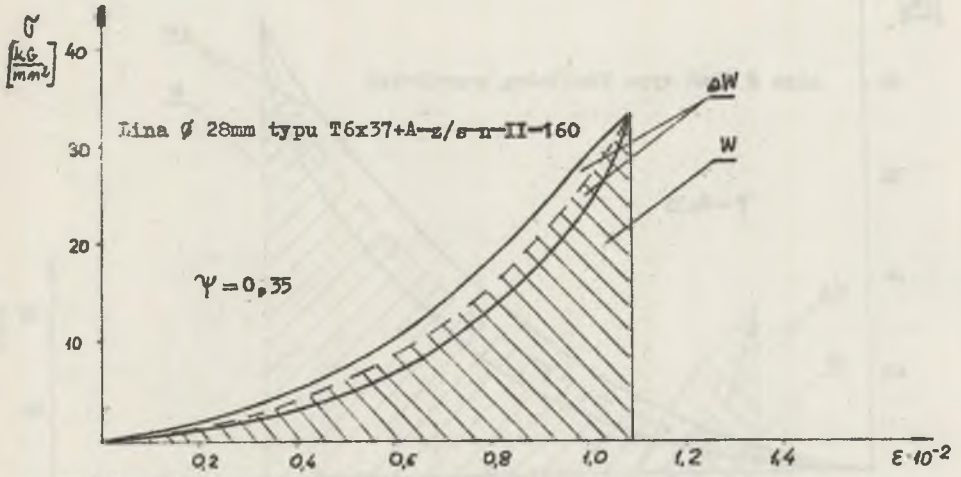
Rys. 4



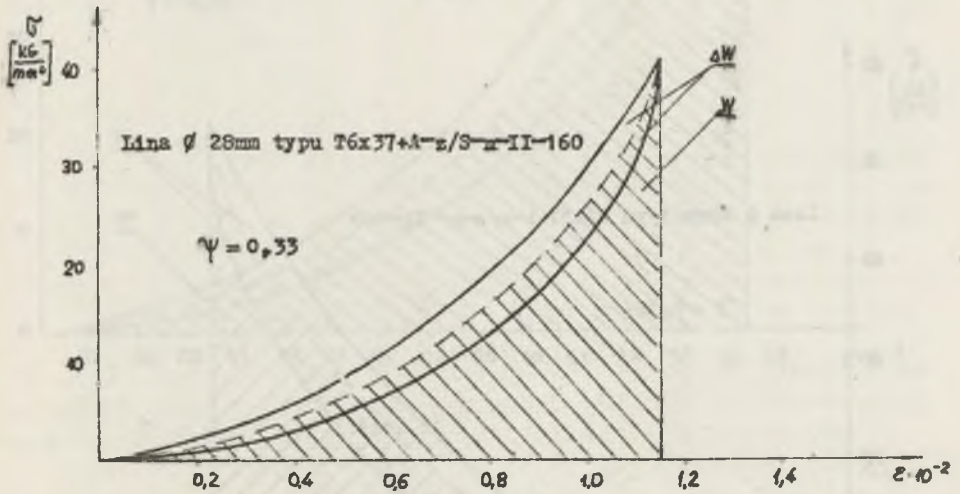
Rys. 5



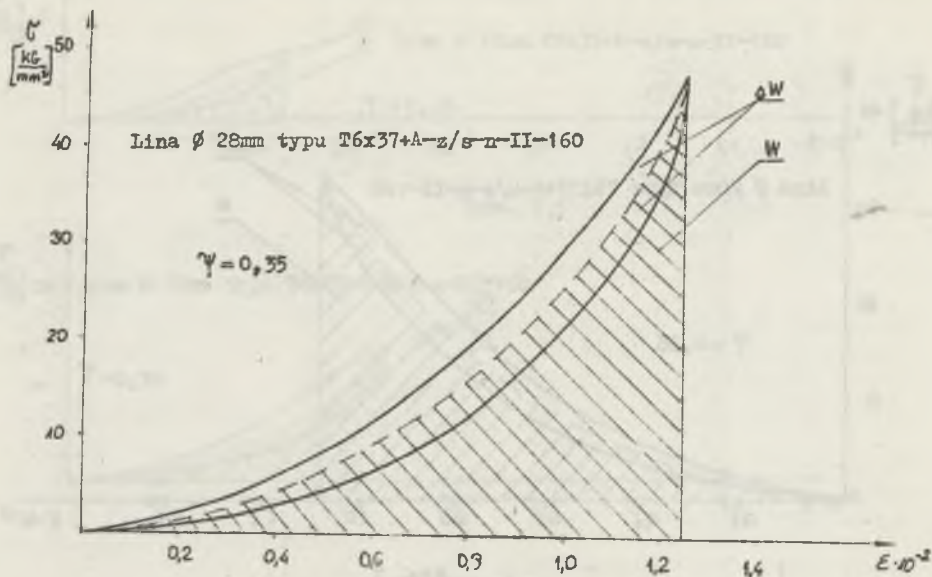
Rys. 6



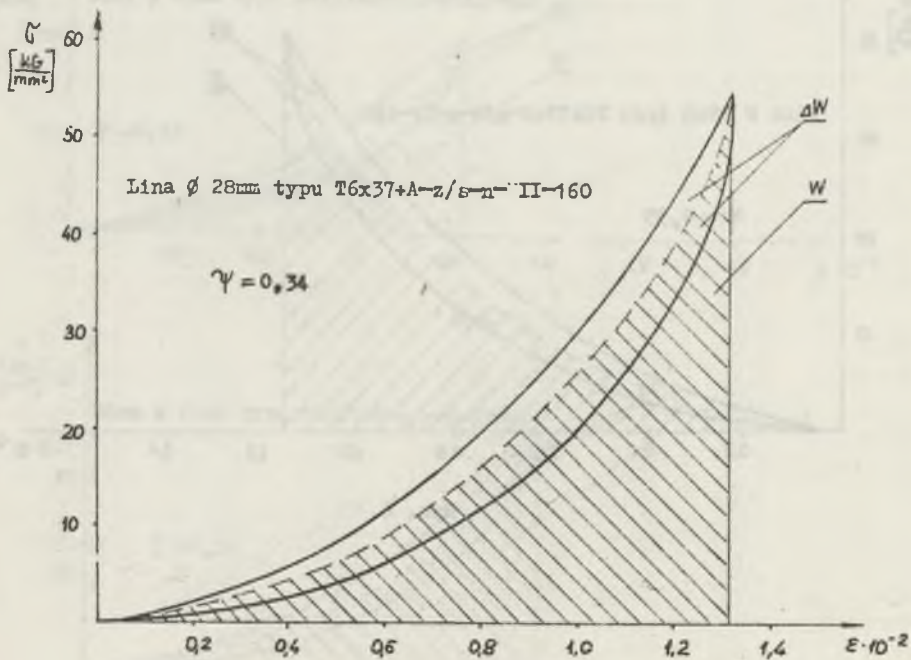
Rys. 7



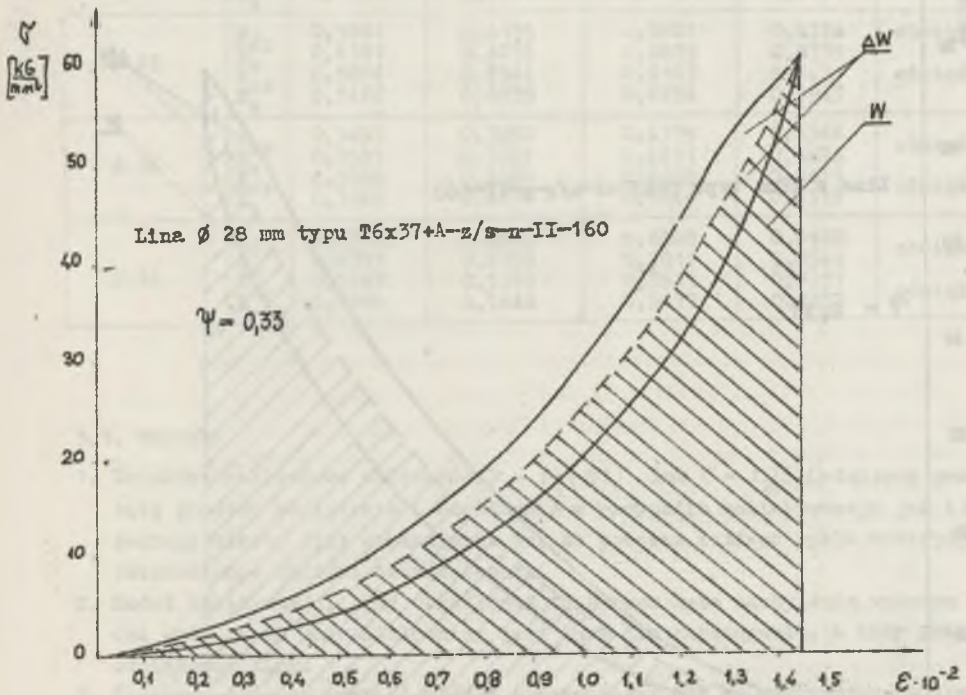
Rys. 8



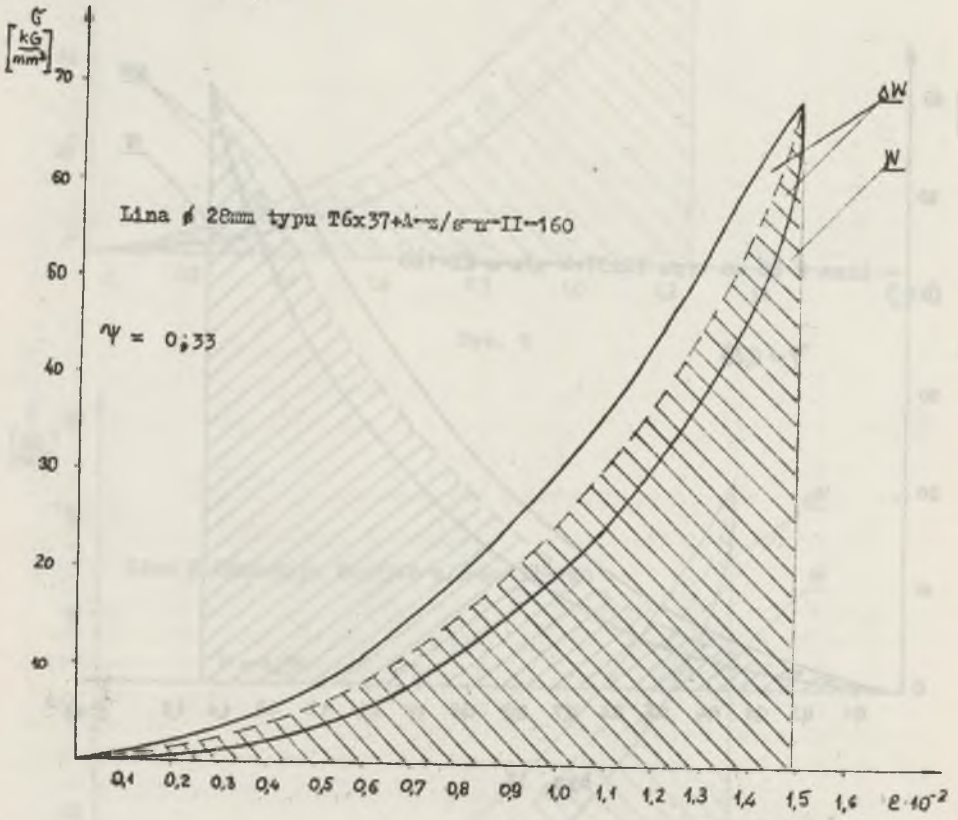
Rys. 9



Rys. 10



Rys. 11



Rys. 12

W tabelicy 3 zestawiono wartości sprężystości modułów E_{sr} , E_a lin dla obciążeń odpowiadających współczynnikom pewności $n=7,5,6,2$, w przypadku zablokowania obrotu liny ze wzrostem jej obciążenia.

Tabela 3

Moduł sprężystości "E", 10^6 kg/cm^2						
Rodzaj liny		n=7	n=6	n=5	n=2	Uwagi
∅ 14	E_{sr}	0,3811	0,3988	0,4133	0,6211	obciąż.
	E_a	0,3923	0,3921	0,4342	0,6372	
	E_{sr}	0,3348	0,3422	0,3447	0,5444	odciąż.
	E_a	0,3481	0,3614	0,3421	0,5411	
∅ 22	E_{sr}	0,5941	0,6135	0,6821	0,8336	obciąż.
	E_a	0,6181	0,6276	0,6879	0,8711	
	E_{sr}	0,5814	0,5944	0,6103	0,7943	odciąż.
	E_a	0,5422	0,6079	0,6274	0,7943	
∅ 28	E_{sr}	0,3403	0,3852	0,4379	0,6566	obciąż.
	E_a	0,3551	0,3961	0,4211	0,6676	
	E_{sr}	0,3259	0,3589	0,4178	0,6411	odciąż.
	E_a	0,3344	0,3711	0,4244	0,6378	
∅ 32	E_{sr}	0,6336	0,6679	0,6909	0,8430	obciąż.
	E_a	0,6387	0,6758	0,7011	0,8544	
	E_{sr}	0,5163	0,5569	0,5911	0,7137	odciąż.
	E_a	0,5194	0,5644	0,5877	0,7277	

3.7. Wnioski

1. Uzyskane nieliniowe zależności $F = f_1(\Delta l)$ lub $G = f_2(\varepsilon)$ odmienny przebieg procesu obciążenia i odciążenia w przypadku zablokowanego jak i swobodnego obrotu liny wskazuje na to, że podczas każdego cyklu występuje rozproszenie energii odkształcenia.
2. Moduł sprężystości liny określonej tangensem kąta nachylenia wykresu do osi wydłużenia /odkształcenia/ jest inny dla rozciągania, a inny przy odciążeniu liny.
3. Znaczny wpływ na wartość modułu sprężystości "E" ma występujący w linie moment odkrętu. Dla lin zablokowanych wartość modułu "E" może wzrosnąć nawet o 100% w porównaniu z linami odblokowanymi.
W przypadku swobodnego obrotu liny wraz ze wzrostem jej obciążenia współczynnik tłumienia statycznego wzrosnąć może o 120% w stosunku do lin zablokowanych.
Częściowe zablokowanie obrotu liny prowadzi do uzyskania pośrednich wartości modułu sprężystości i współczynnika tłumienia z wyznaczonego przedziału ich wartości.
6. Przeprowadzone badania wykazały, że przyjmowanie do obliczeń wartości modułu sprężystości "E" winno być uzależnione od typu zawiesia liny wyciągowej.

Literatura

- [1] Popowicz O.: Transport kopalniany. Cz.4 Wyciągi szybowe. Katowice 1957. Wyd. Górna. - Hutnicze.
- [2] Antoniak J.: Liny stalowe w górniczych wyciągach szybowych.
- [3] Hankus J.: Rozprawa doktorska G.J.B. Katowice 1975.
- [4] Флоринский Ф.В. Динамика шахтного подъемного каната. Учен. техн. издат. Москва 1955.
- [5] Uściński J.: Parametry dynamiczne lin dźwigowych. Materiały konferencyjne, Bytom 1975.
- [6] Wojnarowski J.: Pewne problemy modelowania wielolinowych układów wyciągowych - Zeszyt 25/59. Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn. Gliwice 1976.
- [7] Местеров И.П. Экспериментальное определение модуля упругости стальных канатов ИВУЗ-Горный Журнал нр.4.-1968.
- [8] Овечников В.И.: С методике измерения модуля упругости динамических методом ИВУЗ.-Горный Журнал. нр.4.-1968.
- [9] Oziębaki S.: Zagadnienia sztywności i tłumiącego wpływu lin dźwigowych A.B.M. Tom X 1963.
- [10] Крелевец М.Ц. Определение модуля упругости стальных канатов из динамических испытаний. Киевский Автомобильный Институт, 1951.
- [11] Kowalczyk J.; Hankus J.: Określenie własności sprężystych lin krajowej produkcji dla celów projektowania urządzeń wyciągowych jedno i wielolinowych. GIG - 1965 nr XII.
- [12] Kowalczyk J., Steininger: Liny stalowe, Katowice 1963. Wyd. Śląsk
- [13] Динник А.В. Статие по горному делу. Москва 1957. Учен. техн. издат.
- [14] Berg G., Wolhrab M.: Über den dynamischen Elastizitätsmodul von Förderseilen Drahtseil. Kolloquium, Leipzig 1968
- [15] Pisarenko G.S. - Jakowlew A.F.: Własności tłumienia drgań materiałów konstrukcyjnych. Warszawa 1976.
- [16] Carbogne A. Moment odkrętny liny wyciągowej. Zeszyty Naukowe Pol. Śląskiej nr 52 - 1972 Gliwice.
- [17] Praca zbiorowa pod red. T. Lambara: Laboratorium z Wytrzymałości Materiałów Gliwice 1968.
- [18] Жуков Л. Работа стальных канатов при растяжении шахтного проволочного каната двукратной звивки. - Горный Журнал 1963 Нр.3.

EFFECT OF VARIATIONS OF TURN OFF MOMENT ON REOLOGICAL
PROPERTIES OF MINE HOISTING ROPES

In the paper is presented test stand for investigations of reological properties of mine hoisting ropes with possibility of changing turn off moment and results of experiments, [with] proved decreasing of Young's modulus and strong increasing of damping with decreasing of turn off moment. Obtained results can be interesting contribution to designing of mine hoist's.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА ГОРНЫХ КАНАТОВ

В работе представлена идея стенда для испытаний реологических свойств горных канатов с равномерным изменением крутящего момента. В результате проведенных испытаний показано, что в зависимости от значения падения крутящего момента наблюдается значительное снижение модуля упругости E и значительное повышение статического трения. Полученные результаты являются интересной предпосылкой для конструкторов, которые проектируют горные подъемные системы.