

Alfred CARBOGNO

Instytut Mechanizacji Górnictwa
Politechniki Śląskiej

WSTĘPNE NACIĄGANIE LIN WYCIĄGOWYCH

Streszczenie. Jednym ze sposobów technologicznych wpływających na wzrost trwałości zmęczeniowej lin stalowych oraz eliminujących znaczne trwałe wydłużenia lin podczas ich eksploatacji jest wstępne naciąganie lin przed ich założeniem do urządzeń wyciągowych. Wstępne naciąganie lin wpływa również na zmniejszenie momentu odkrętnego lin oraz zmianę sztywności podłużnej, poprzecznej i skrętnej lin. Czynność ta poprawia również zawartość konstrukcji lin. Zastosowanie lin wstępnie naciągniętych w urządzeniach wyciągowych wielolinowych poprawia równomierność rozkładu obciążeń poszczególnych lin, eliminuje częste skracanie lin, przez co sprzyja stosowaniu bezwyrównowozego sposobu mocowania lin do naczyni wyciągowych. Pozwala również na wymianę jednej przedwoześnie zużytej liny w kompiecie wielu lin nośnych urządzenia wyciągowego wielolinowego. Poprawia to znacznie ekonomikę i gospodarkę linami wyciągowymi w górnictwie. W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu wstępnego naciągania lin na ich wytrzymałość zmęczeniową przy obciążeniach rozciągających i sginających przeprowadzonych w Instytucie Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej. Przedstawiono analizę wydłużeń eksploatacyjnych nośnych lin wyciągowych oraz omówiono koncepcje urządzeń do wstępnego naciągania jakie opracowano w IMG Pol.Śl. i KWK "Jankowice". Przedstawiono również wielkości sił stosowanych do wstępnego naciągania lin przez różne firmy zagraniczne i krajowe. Podano również zalecenia dotyczące stosowania lin wstępnie naciągniętych oraz przykład naciągania za pomocą dwóch kołowrotów ciernych typu EPR jednej liny nośnej $\varnothing 48$ mm i zastosowanie jej w wyciągu osterolinowym.

1. WSTĘP

Jednym z aktualnych problemów występujących podczas eksploatacji górniczych urządzeń wyciągowych wielolinowych, szczególnie w szybach głębokich w kraju i za granicą, jest problem trwałości i eksploatacyjnych wydłużeń lin nośnych. Jednym ze sposobów technologicznych wpływających na wzrost trwałości zmęczeniowej lin stalowych oraz eliminujących znaczne wydłużenia trwałe podczas ich eksploatacji jest tak zwane wstępne naciąganie lin przed założeniem ich do urządzeń wyciągowych. Proces wstępnego naciągania lin stalowych określane jest również mianem "trenowania lin", obciążania lin lub stabilizacji własności sprężystych lin. Ponieważ wstępne naciąganie wpływa nie tylko na wzrost trwałości zmęczeniowej lin i na

znaczoną eliminację trwałych odkształceń wzdłużnych, ale również na zmniejszenie momentu odkrętnego, poprawienie swartości konstrukcji liny (zmniejszenie jej średnicy) oraz zmianę sztywności podłużnej, poprzecznej oraz skrętnej, zabieg ten również określa się mianem stabilizacji własności mechanicznych lin stalowych. Zastosowanie lin wstępnie naciągniętych w wyciągach wielolinowych poprzez ujednoczenie ich własności mechanicznych poprawia równomierność rozkładu obciążeń lin, eliminuje częste skracanie po ich założeniu, przez co sprzyja stosowaniu bezwyrównowozego sposobu mocowania lin do głowic naczyń wyciągowych oraz pozwala na wymianę jednej przedwcześnie uszkodzonej liny w komplecie wielu lin nośnych urządzenia wyciągowego wielolinowego, w przypadku kiedy pozostałe liny są dobre. Poprawia to znacznie ekonomikę i gospodarkę linami wyciągowymi w górnictwie.

Obeonie w krajowej literaturze technicznej przedstawiane są publikacje związane z zagadnieniem stabilizacji własności mechanicznych lin stalowych [2,8,9]. Problem ten dotyczy nie tylko górniczych urządzeń wyciągowych, ale również lin stosowanych w innych rodzajach przemysłu, np. w budownictwie - konstrukcje linowe (mosty linowe, dachy zawieszane, liny odciągowe masztów), w transporcie - kolejki linowe (towarowe, pasażerskie) naziemne i podziemne oraz w różnego rodzaju dźwignicach. Publikacje te dotyczą głównie urządzeń stosowanych do wstępnego naciągania lin, a w mniejszym stopniu samej istoty tej operacji. Należy więc odpowiedzieć na następujące pytania:

- co oznacza termin "wstępne naciąganie lin" (stabilizacja własności mechanicznych lin stalowych za pomocą wstępnego ich naciągania),
- jaki wpływ na linę wywiera zastosowanie zabiegu wstępnego naciągania lin,
- w jakich przypadkach zalecane jest stosowanie lin stalowych wstępnie naciągniętych,
- jakie niekorzystne właściwości cechują liny wstępnie naciągnięte,
- jakimi siłami rozciągającymi należy wstępnie naciągać liny.

2. CO OZNACZA TERMIN "WSTĘPNE NACIĄGANIE LINY"?

Wstępne naciąganie liny stalowej polega na poddaniu jej przez pewien czas działaniu statycznej lub statycznej z dodatkowym obciążeniem dynamicznym (pulsującym) siły rozciągającej, której wielkość znacznie jest większa od maksymalnej siły rozciągającej, jaka występuje w późniejszej eksploatacji liny w danym urządzeniu transportowym. W przypadku lin stalowych stosowanych w niektórych konstrukcjach budowlanych podczas wstępnego naciągania lin dodatkowo stosowana jest stabilizacja termiczna własności mechanicznych lin poprzez ich podgrzewanie w odpowiedniej temperaturze.

Wspomniana siła rozciągająca linę może być:

- stała w pewnym przedziale czasu, a jej wartość najczęściej wynosi 50% obciążeniowej siły zrywającej linę,
- zmienna w zakresie od 20 do 50% obciążeniowej siły zrywającej linę lub na obciążenie stałe nakładana jest pulsacja siły $\pm 15\%$,
- stała lub zmienna z jednoczesnym zginaniem liny na bębnoch i kołach.

3. WPLYW WSTĘPNEGO NACIĄGANIA NA LINĘ

Z analizy literatury oraz przeprowadzonych badań laboratoryjnych w Instytucie Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej (dalej IMG Politechniki Śląskiej) wynika, że wstępne naciąganie lin ma wpływ na:

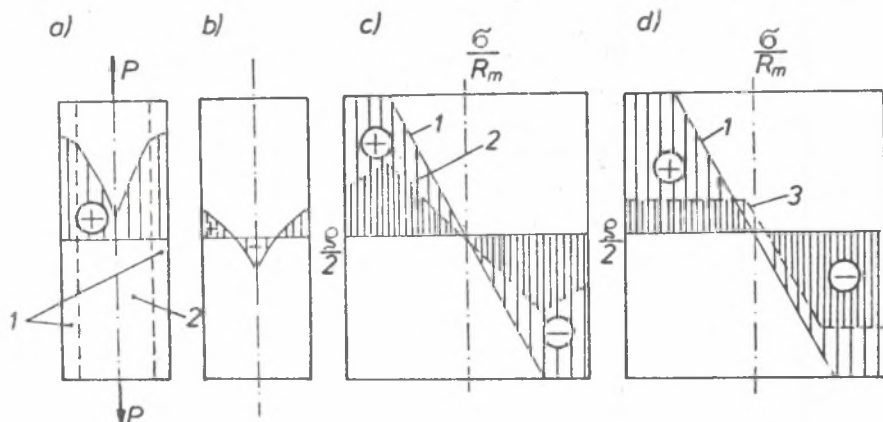
- trwałość zmęczeniową lin,
- wydłużenie eksploatacyjne lin.

3.1. Wpływ wstępnego naciągania na trwałość zmęczeniową lin

Podczas produkcji drutów i lin stalowych powstają naprężenia własne pierwszego rodzaju podczas ciągnięcia drutów i drugiego rodzaju podczas skręcania drutów w splotki i splotki w linę. Naprężenia te ogólnie określane są mianem naprężeń technologicznych. Podczas sprężysto-plastycznego rozciągania drutu, w którym naprężenia własne 1 rodzaju są rozciągające (rys. 1a), w zewnętrznych włóknach drutu występują odkształcenia plastyczne 1, a we włóknach wewnętrznych odkształcenia sprężyste 2. Po odciążeniu rozciąganego drutu naprężenia własne maleją lub nawet zmieniają znak z naprężeń rozciągających na ściskające. Zabieg wstępnego naciągania drutu przyczynia się więc do wyrównania wielkości naprężeń własnych w przekroju drutu. To wyrównanie naprężeń lub zmiana ich znaków w przekroju poprzecznym drutu wpływa na wzrost własności zmęczeniowych drutu, co potwierdziły badania zawarte w pracy [10]. Wzrost wytrzymałości zmęczeniowej drutu zależał od wielkości zastosowanej siły wstępnego naciągania drutu jak i wytrzymałości drutu na zerwanie R_m oraz gniotu promieniowego drutu zastosowanego podczas jego ciągnięcia. W linie stalowej po jej skręceniu w wyniku trudności uzyskania jednakowego naciągu drutów w splotkach i splotek w linie, druty i splotki mają różną długość. Różnica ta jest większa w linach o liniowym styku drutów, a mniejsza w linach o punktowym styku drutów (teoretycznie nie powinno jej być). W drutach powstają naprężenia własne 2 rodzaju, które nakładają się na naprężenia własne 1 rodzaju ogólnie zwane naprężeniami technologicznymi. Naprężenia te rozkładają się bardzo nierównomiernie w drutach na szerokości przekroju poprzecznego liny wpływają niekorzystnie na późniejszą trwałość liny podczas jej eksploatacji. W celu obniżenia, wyrównania lub tak zwanej neutralizacji tych naprężeń w przekroju poprzecznym liny stosowane są różne

dodatkowe metody lub sposoby obróbki mechanicznej splotek lub lin stalowych w całości, do których zaliczyć możemy:

- dokręcanie lub odkręcanie ram ze szpulami w splotkarkach,
- wstępne odkształcanie drutów podczas ich skręcania w splotki lub splotek w linę (preformacja) - metoda Tru-lay,
- odkształcanie splotek lub liny na drodze wielokrotnego ich przegięcia przez układy krążków - metoda Pawo,
- promieniowy głęboki plastyczny zgniot splotek lub lin spiralnych o liniowym styku (przez co powstają liny o powierzchniowym styku drutów między sobą),
- wstępne naciąganie liny po jej wyprodukowaniu polegające na sprężysto-plastycznym rozciągnięciu liny,
- podwójne skręcanie drutów w przypadku drutów dla lin konstrukcji zamkniętej.

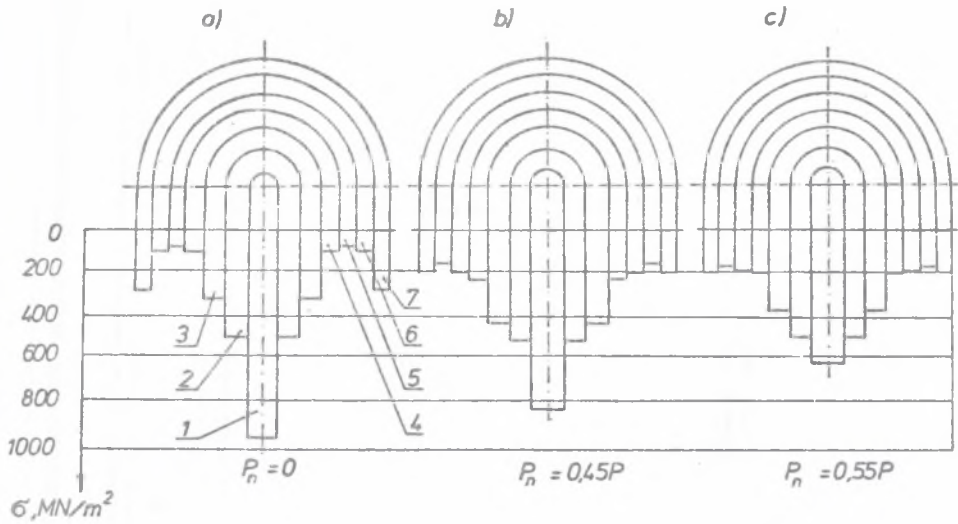


Rys. 1. Wykresy rozkładu naprężeń własnych w:

- a - w drucie po ciągnięciu, b - w drucie po jego wstępnym naciąganiu
 1 - strefa odkształceń plastycznych w drucie, 2 - strefa odkształceń sprężystych w drucie
 c-d - w drucie liny:
 1 - liny nienaciąganej i nieprzeciąganej przez deformator (Tru-lay czy Pawo), 2 - liny przeciąganej przez deformator, 3 - liny wstępnie naciąganej

Fig. 1. Diagram of stress distribution:

- a - in wire after drawing, b - in wire after prestretching,
 1 - the zone of plastic deformation in wire, 2 - the zone of elastic deformation in wire
 c-d - in wire of rope
 1 - rope no stretch and no stretch through deformatore (Tru - lay or Pawo),
 2 - rope stretch throught deformatore, 3 - rope after prestretching



Rys. 2. Wykresy rozkładu naprężeń średnich w warstwach drutów liny \varnothing 20mm konstrukcji zamkniętej 1+7/7/7+14+16+11/11+26Z:

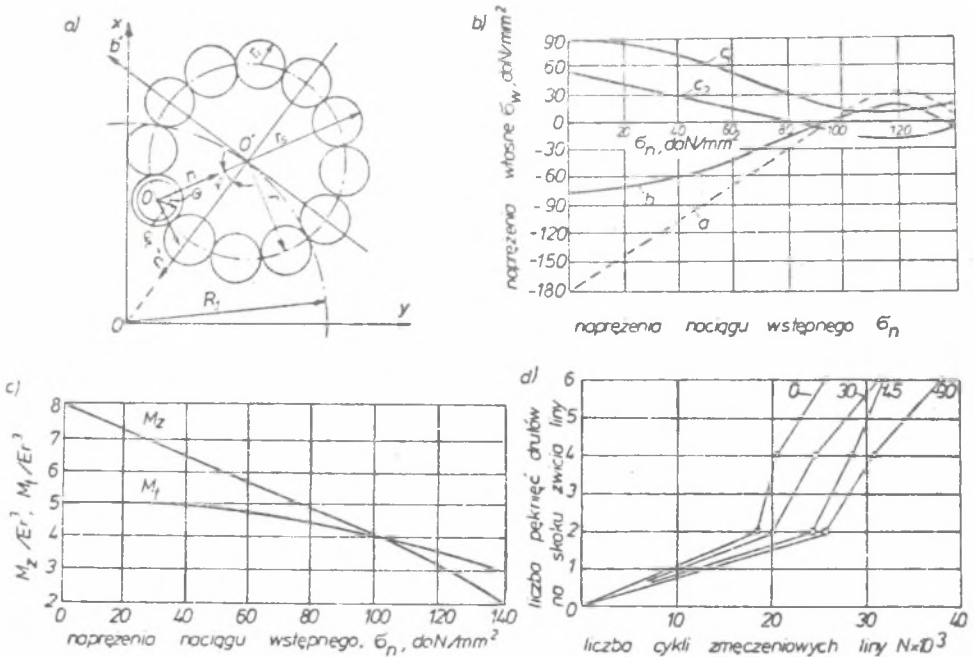
1 - drut rdzeniowy, 2 - 7 - numer warstwy drutów, P, P_n - obciążeniowa siła zrywająca linę i siła wstępnego naciągania

Fig. 2. Diagram of middle stress distribution in layers of wires for rope diameter closed construction 1+7/7/7+14+16+11/11+26Z:

1 - core wire, 2 - 7 - a number of wire layers, P, P_n - breaking force and prestretching force

Przykładowo na rys. 1c i d przedstawiono wpływ odprężenia liny metodą Tru-lay oraz wstępnego jej naciągania na zmianę rozkładu naprężeń w drucie liny dwuzwitej. Obie te czynności znacznie obniżyły wielkości naprężeń i jakie powstały w drutach spletek liny po jej wyprodukowaniu [1]. Wpływ wstępnego naciągania na rozkład naprężeń w warstwach drutów liny konstrukcji zamkniętej przedstawiono na rys.2 [5]. Z rysunku tego wynika, że wyrównanie naprężeń w drutach wzrasta ze wzrostem zastosowanej siły wstępnego naciągania P_n w stosunku do obciążeniowej siły zrywającej P linę. W pracy [1] przedstawiono również badania teoretyczne za pomocą EMC stanu naprężeń jakie występują w drutach lin dwuzwitych podczas ich wstępnego naciągania oraz po zakończeniu tego procesu. Fragment wyników tych badań przedstawiono na rys. 3. Obszernego przeglądu literatury dotyczącej wpływu wstępnego naciągania lin na rozkład naprężeń własnych w drutach lin dokonano w pracach [1,3,4]. Wynika z nich jednoznacznie, że wyrównanie naprężeń własnych w drutach liny poprzez zastosowanie wstępnego naciągania lin wpływa na wzrost ich trwałości zmęczeniowej. Literatura najoczęściej podaje wyniki badań wpływu wstępnego naciągania siłą do 0,5 P

na ich trwałość podczas badań zmęczeniowych na jedno- lub dwustronne ich przeginięcie na kołach w specjalnych maszynach zmęczeniowych. Wynika z nich, że trwałość lin naciągniętych wzrasta 1,3 ÷ 4 razy. Tak różne wartości wzrostu trwałości zmęczeniowej lin wstępnie naciąganych wynikają z tego, że zależą one nie tylko od zastosowanego obciążenia wstępnego naciągania ale i od stosunku D/d (D - średnica koła zginającego, d - średnica liny).

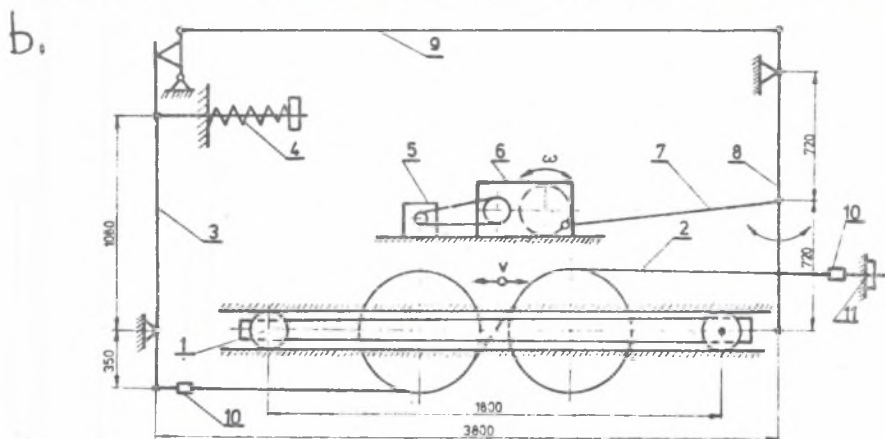
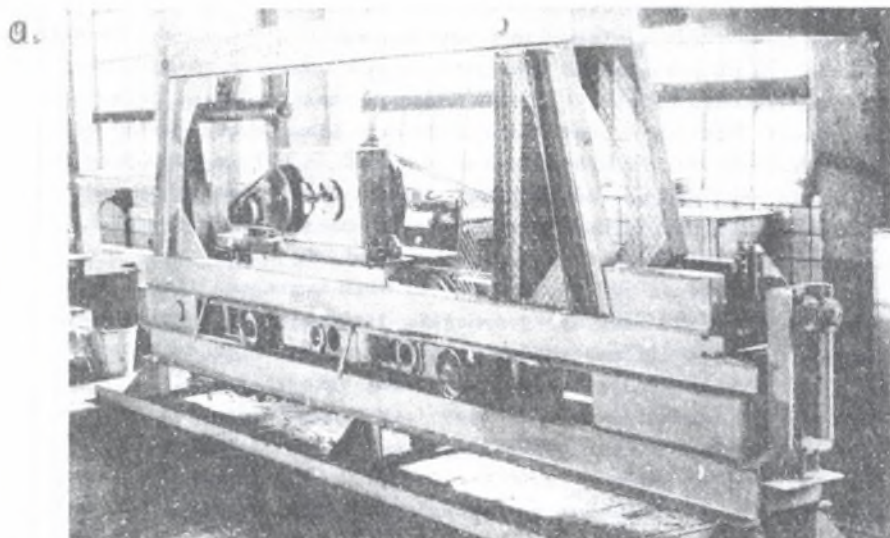


Rys. 3. Wpływ wielkości średnich naprężeń wstępnego naciągania $\bar{\sigma}_n$ liny ϕ 6,9 mm konstrukcji 6x19+A₀ na:

a - układ współrzędnych, b - naprężenia własne $\bar{\sigma}_w$ w drutach liny, c - momenty zginający M_z i skręcający M_t w splotkach liny, d - wytrzymałość zmęczeniową liny na przeginięcie, a_1, b_1, c_1, d_1 - drut rdzeniowy, warstwy wewnętrznej, druty cienkie i grube warstwy zewnętrznej w splotkach liny

Fig. 3. Effect of middle stress prestretching $\bar{\sigma}_n$ for 6,9 mm diameter rope construction 6x19+A₀:

a - coordinate system, b - own stress $\bar{\sigma}_w$ in wires of rope, c - bending moment M_z and twist moment M_t in rope strand, d - strength of rope for contraflexure a_1, b_1, c_1, d_1 - core wire, inside layers, thin and thick wires of outside layer in rope strand



Rys. 4. Maszyna typu P-3 do badań zmęczeniowych lin stalowych na przeginięcie:

a - widok, b - schemat

1 - wózek z kołami zginającymi, 2 - lina, 3 - dźwignia napinająca, 4 - sprężyna napinająca, 5 - silnik elektryczny, 6 - przekładnia, 7 - łącznik, 8 - wahacz, 9 - dźwignia mechanizmu pulsującego, 10 - mechanizm obrotu liny, 11 - śruba napinająca

Fig. 4. Machine type P-3 for fatigue research of steel rope:

a - view, b - diagram

1 - truck with bending wheels, 2 - rope, 3 - stretch lever, 4 - tensioning spring, 5 - electric engine, 6 - reductor, 7 - connecting link, 8 - rocker, 9 - lever of pulsating mechanism, 10 - mechanism of rope turn, 11 - stretch screw

W IMG Pol.Śl. przeprowadzono badania wpływu wstępnego naciągania lin na wytrzymałość zmęczeniową lin przeginanych i rozciąganych. Badania na trwałość lin na przeginanie przeprowadzono w maszynie zmęczeniowej typu P3 przedstawionej na rys. 4. Badano liny o średnicy 20 mm przeciwzвите konstrukcji $T6x19+A_0$ oraz Seale $6x19+A_t$. Liny podczas badań zginane były dwukierunkowo. Parametry badań lin \varnothing 20 mm były następujące $D/d = 35$, obciążenie rozciągające odcinki lin podczas badań w maszynie odpowiadało współczynnikowi bezpieczeństwa liny $n = 5$. Badano po trzy odcinki lin nie naciąganych oraz wstępnie naciąganych siłami $P_n = 0,3, 0,5, 0,6, 0,75, 0,8, 0,85 P_0$ (gdzie P_0 - obciążeniowa siła zrywająca linę). Liczba cykli zmęczeniowych wózka maszyny P3 wynosiła 31 na minutę. Podczas badań rejestrowano liczbę cykli zmęczeniowych dwukierunkowych aż do zniszczenia liny, za które uważano pęknięcie pierwszej splotki w linie. Wyniki badań przedstawiono w tabelicy 1. Z przeprowadzonych badań wynika, że wstępne naciąganie lin poprawia ich wytrzymałość zmęczeniową o $20 \pm 26\%$ przy zastosowanej sile $P_n = (0,6 - 0,75)P_0$. Przekroczenie pewnej określonej siły P_n spowodowało spadek wytrzymałości zmęczeniowej. Mały wzrost trwałości zmęczeniowej lin konstrukcji Seale spowodowany był zastosowaniem w tej linie rdzeniem metalicznym (A_t).

Tabela 1

Wyniki badań wpływu wielkości siły wstępnego naciągania P_n na wytrzymałość zmęczeniową lin przeciwzwytych \varnothing 20 mm konstrukcji $T6x19+A_0$ i Seale $6x19+A_t$ podczas badań zmęczeniowych lin na dwukierunkowe zginanie

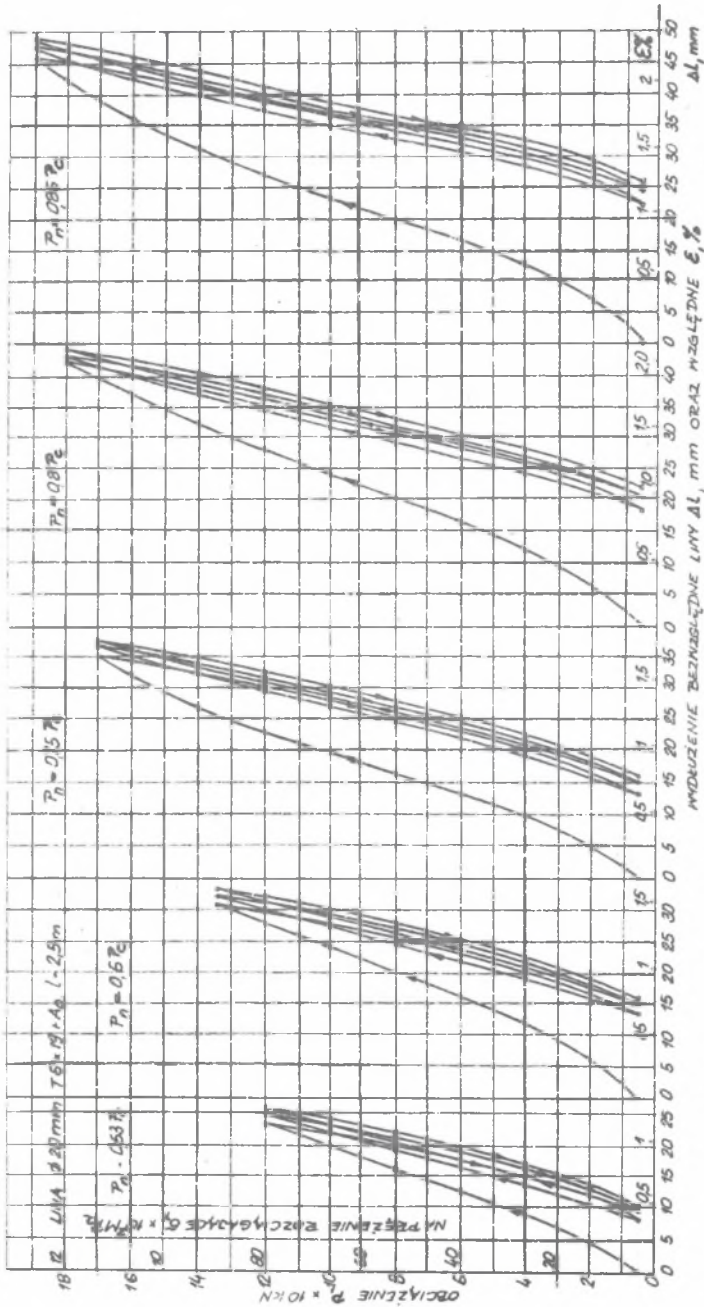
Konstrukcja lin przeciwzwytych \varnothing 20 mm	Siła P_n/P_0	Liczba cykli zmęczeniowych do zniszczenia				Przyrost trwałości w %
		próbka 1	próbka 2	próbka 3	średnia	
$T6x19+A_0$ $R_m = 1570$ MPa	0	6200	6400	7000	6533	-
	0,3	6900	7200	6600	6900	5,6
	0,5	7800	7400	8100	7766	18,9
	0,6	8600	8200	7800	8200	25,5
	0,75	8500	8100	8000	8200	25,5
	0,8	8000	7700	8200	7966	21,9
Seale $6x19+A_t$ $R_m = 1770$ MPa	0	14000	13900	13600	13833	-
	0,3	15000	13800	14400	14400	4,1
	0,5	16400	14800	15300	15500	12
	0,6	16700	16300	15800	16266	17,6
	0,75	17000	16000	16800	16600	20
	0,8	16100	15500	15700	15766	14
	0,85	15500	14800	14200	14833	7,2

Badania zmęczeniowe na rozciąganie przeprowadzono na zainstalowanej w CLB maszynie wytrzymałościowej typu UPDh-100/50 z pulsatorem hydraulicznym PU-900 wyposażonym w aparaturę cyfrową do symulowania obciążeń techniką cyfrową systemu MEED. Przedmiotem badań była lina stalowa o średnicy $d = 20$ mm, przeciwzwita konstrukcji T6x19+A₀ wg PN-69/M-8027 o $R_m = 1570$ MPa. Do badań zmęczeniowych odcinano odcinki liny długości 2500 mm. Oba końce liny zalewano cynkiem w specjalnych uchwytach stożkowych pulsatora. Długość robocza liny wynosiła około 2100 mm. Częstotliwości zmian obciążeń ustalono na poziomie 3,3 Hz. Przy tej częstotliwości temperatura liny mierzona termoparą wprowadzoną w szczelinę pomiędzy splotkami liny ustalała się na poziomie około 42°C przy temperaturze otoczenia równej 23°C. Takie przyjęcie częstotliwości zmian obciążeń uzasadnia się tym, że większa częstotliwość zmian obciążeń powodowała istotne grzanie się liny (ograniczenie ze względu na temperaturę kroplenia smaru), natomiast zmniejszenie częstotliwości wydłużało czas badań. Przed badaniami każda próbka liny poddana była trzykrotnemu obciążeniu i odciążeniu wstępnemu przy przyjętych do badań pięciu poziomach wartości obciążenia wstępnego zestawionych w tabelicy 2, tj. $P_n = 53, 60, 75, 80, 85$ procent wartości rzeczywistej siły zrywającej linę w całości $P_0 = 224,973$ kN. W przypadku I poziomu naciągu wstępnego ($P_n = 0,53 P$), równał się on maksymalnemu obciążeniu cyklu P_{max} .

Tabela 2

Wartości sił wstępnego naciągania P_n oraz obciążeń podczas badań zmęczeniowych na rozciąganie liny $\phi 20$ mm konstrukcji T6x19+A₀

Grupa	Liczba próbek	Siła wstępnego naciągania liny P_n , kN	Obciążenie podczas badań zmęczeniowych P , kN
I	3	$0,53 P_z = 120$	maksymalne $P_{max} = 120$
II	3	$0,6 P_z = 135$	minimalne $P_{min} = 40$
III	3	$0,75 P_z = 168,7$	średnie $P_m = 80$
IV	3	$0,8 P_z = 180$	amplitudarne $P_a = 40$
V	3	$0,85 P_z = 191$	



Rys. 5. Wykresy rozciągania liny $\phi 20 \text{ mm}$ konstrukcji T6x19+ A_0 dla różnych wartości wstępnych naciągania lin

$P_n = (0,53 - 0,85) P_0$, gdzie: P_0 - rzeczywista siła zrywająca linę w całości

Fig. 5. Diagram of stretching: rope 20 mm diameter construction T6x19+ A_0 for different values of prestretching forces

$P_n = (0,53 - 0,85) P_0$, where P_0 - rope breaking force

Tablica 3

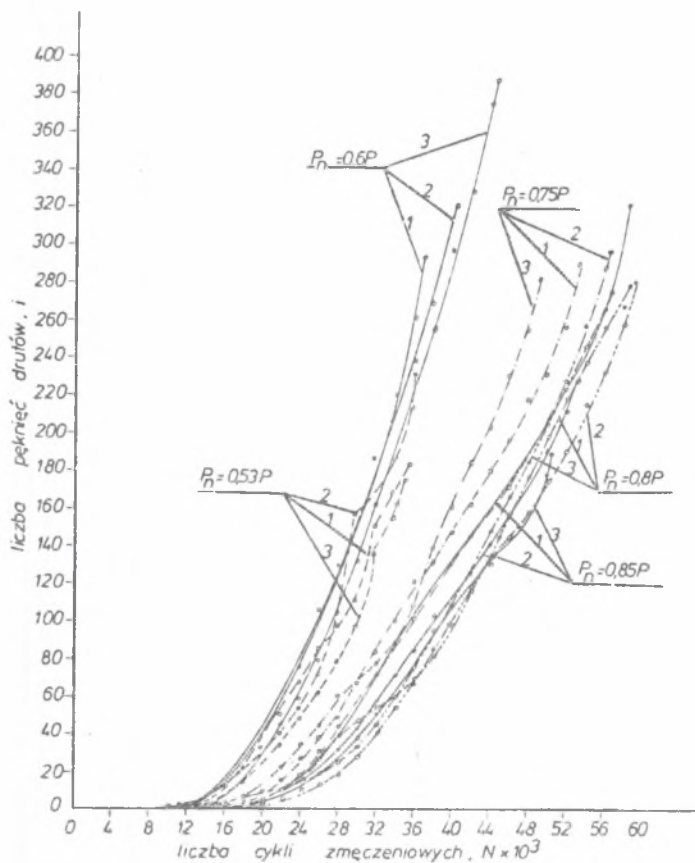
Wyniki pomiarów wydłużeń względnych badanych na rozciąganie odcinków lin ϕ 20 mm konstrukcji T6x19-A₀ dla trzech kolejnych (indeksy 1,2,3) cykli ociążania liny. Wartości średnie każdorazowo dla trzech próbek

Grupa badań	Schemat wydłużeń	Względne wydłużenia liny ϵ , %									
		Całkowite ϵ_0			Trwałe ϵ_t			Sprężyste ϵ_s			
		ϵ_{01}	ϵ_{02}	ϵ_{03}	ϵ_{t1}	ϵ_{t2}	ϵ_{t3}	ϵ_{s1}	ϵ_{s2}	ϵ_{s3}	
I		1,12	0,82	0,79	0,39	0,08	0,04	0,73	0,74	0,75	
II		1,46	0,87	0,87	0,64	0,08	0,05	0,82	0,79	0,82	
III		1,65	1,10	1,05	0,65	0,09	0,05	1,00	1,01	1,00	
IV		1,93	1,13	1,08	0,9	0,10	0,07	1,03	1,03	1,01	
V		2,17	1,20	1,17	1,03	0,10	0,07	1,14	1,10	1,1	

Na podstawie zapisów sporządzono wykresy $\Delta L = f(P)$. Wartości średnie z badań dla 5 grup naciągu wstępnego przedstawiono na rys. 5. Z wykresów wynika, że wydłużenie trwałe po I cyklu obciążenia i odciążenia jest znaczne, natomiast po II cyklu obciążenia i odciążenia przyrost wydłużenia jest $5 \div 10$ razy mniejszy, zaś po III cyklu $10 \div 13$ razy mniejszy niż po I cyklu. Spadek wydłużenia trwałego ϵ_t po kilku cyklach obciążenia i odciążenia w stosunku do wydłużenia trwałego jakie występuje po pierwszym cyklu obciążenia przedstawiono w tabelicy 3. Wydłużenie trwałe lin rośnie ze wzrostem napięcia wstępnego P_n liny. Z wykresów wynika, że w zupełności wystarczą trzy cykle obciążenia i odciążenia w celu wyeliminowania znacznego wydłużenia trwałego liny po jej wyprodukowaniu, a przed założeniem do urządzenia transportowego. Z badań wynika także, że dla danego poziomu naciągu wstępnego wykresy $\Delta L = f(P)$ różnią się pomiędzy sobą nieznacznie, jednak obserwuje się większe zróżnicowanie tych wykresów przy małych wartościach względnych naciągów wstępnych niż przy dużych np. $P_n = 0,75 P_0$. Po trzykrotnym wstępnym napinaniu każdej próbki liny poddano badaniom zmęczeniowym. Wartość siły rozciągającej linę zmieniała się w granicach od $P_{\min} = 40$ kN do $P_{\max} = 120$ kN. Wartości narastania liczby pęknięć drutów badanych lin o różnej wartości naciągu wstępnego w funkcji liczby cykli zmęczeniowych przedstawia rys. 6. Na rys. 7 przedstawiono wykres zależności liczby pęknięć drutów do momentu zerwania się liny przy różnych jej naciągach wstępnych oraz wykres wpływu naciągu wstępnego na trwałość badanej liny. Z wykresów na rys. 7 wynika, że istnieje wyraźna zależność pomiędzy zastosowanym obciążeniem wstępnym naciągania liny a jej trwałością zmęczeniową. W przypadku badanej liny największą trwałość zmęczeniową uzyskuje się dla naciągu wstępnego równego około 80% rzeczywistej siły zrywającej linę w całości. Przy takiej wartości naciągu wstępnego uzyskano 1,63 krotny wzrost liczby przeniesionych cykli zmęczeniowych w stosunku do liny wstępnie napinanej $P_n = 0,53 P_0$. Jest to więc przyrost na tyle istotny, że wydaje się celowe przeprowadzenie prób ruchowych z linami wstępnie naciągniętymi. Dodatkowym czynnikiem przemawiającym za przeprowadzeniem tego rodzaju prób jest fakt znacznego zmniejszenia się dydlużeń trwałych po wstępnym napinaniu lin.

3.2. Wydłużenia eksploatacyjne lin

Drugim bardzo ważnym czynnikiem jaki uzyskuje się przez zastosowanie zabiegu wstępnego naciągania lin jest całkowite lub częściowe wyeliminowanie początkowego wydłużenia trwałego liny jakie może ona osiągnąć podczas eksploatacji. Jest to szczególnie ważne w przypadku lin długich stosowanych w górniczych urządzeniach wyłagowych, kolejkach linowych, w konstrukcjach budowlanych (konstrukcje wiszące, mosty linowe, wieże).

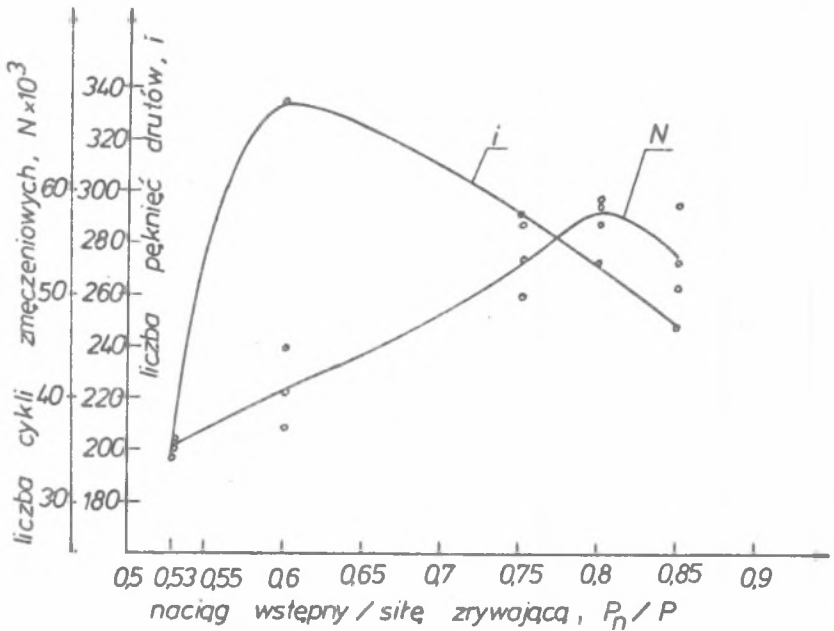


Rys. 6. Wykresy narastania liczby pęknięć drutów podczas badań zmęczeniowych na rozciąganie lin $\varnothing 20$ mm T6x19+A₀ w zależności od siły wstępnego naciągania liny P_n i liczby cykli zmęczeniowych

Fig. 6. Diagram of breaking wires during research for stretching rope 20mm diameter T6x19+A₀ in case of prestretching force for rope P_n and number of fatigue cycles

Wydłużenie się lin podczas eksploatacji zależy od:

- konstrukcji liny,
- średnicy, konstrukcji i materiału rdzenia (włóknistego lub stalowego) liny,
- kątów zwicia i długości skoków zwicia spletek i liny,
- jakości zwicia liny,
- temperatury i wilgotności otoczenia,
- wielkości i rodzaju obciążenia (statycznego, dynamicznego) oraz czasu jego działania.

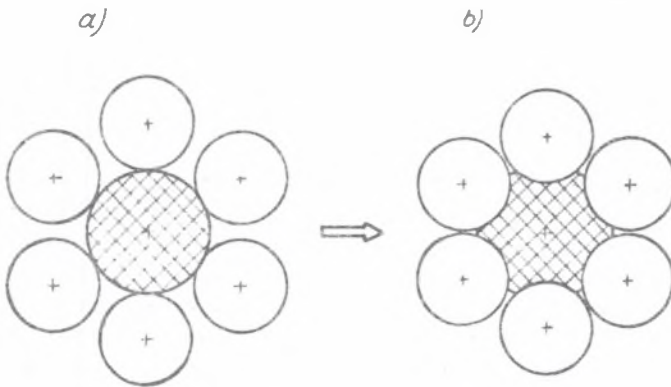


Rys. 7. Trwałość zmęzeniowa (N) oraz zależność liczby pęknięć drutów (i) w linie $\varnothing 20$ mm T6x19+A₀ o długości 2,1 m w zależności od zastosowanej siły wstępnej naciągania liny

$P_n = f(P_0)$ gdzie: P_0 - rzeczywista siła zrywająca linę w całości
 Fig. 7. Fatigue durability (N) and relationship of breaking number (i) of wires in rope $\varnothing 20$ mm T6x19+A₀, length 2,1 m in case of using prestressing force of rope

$$P_n = f(P_0), \text{ where } P_0 - \text{rope breaking force}$$

Z wyżej wymienionych czynników istotny wpływ na wydłużanie ma rdzeń liny. W prawidłowo zaprojektowanej i wykonanej linie splotki nie powinny się stykać pomiędzy sobą w celu uniknięcia istotnych nacisków między nimi (rys. 8a). Pod wpływem obciążenia liny włókniste rdzenie lin wykonane z włókien roślinnych lub z tworzyw sztucznych ulegają odkształceniom wzdłużnym i promieniowym w wyniku działania promieniowych nacisków splotek [11]. W wyniku tego zjawiska liny wydłużają się, a ich średnica maleje (rys. 8b). Zjawisko to zachodzi asymptotycznie i na jego przebieg ma wpływ zarówno przyłożona do liny siła jak i czas jej działania. Proces ten zachodzi nawet w ciągu kilku lat (krzywa 1 na rys. 9), gdzie wydłużenie liny po upływie czasu t_1 wyniesie ε_1 . Przy poprawnym wymiarowaniu liny punkt A na rys. 9 zawsze powinien leżeć poniżej asymptoty oznaczającej granicę styku splotek w linie.

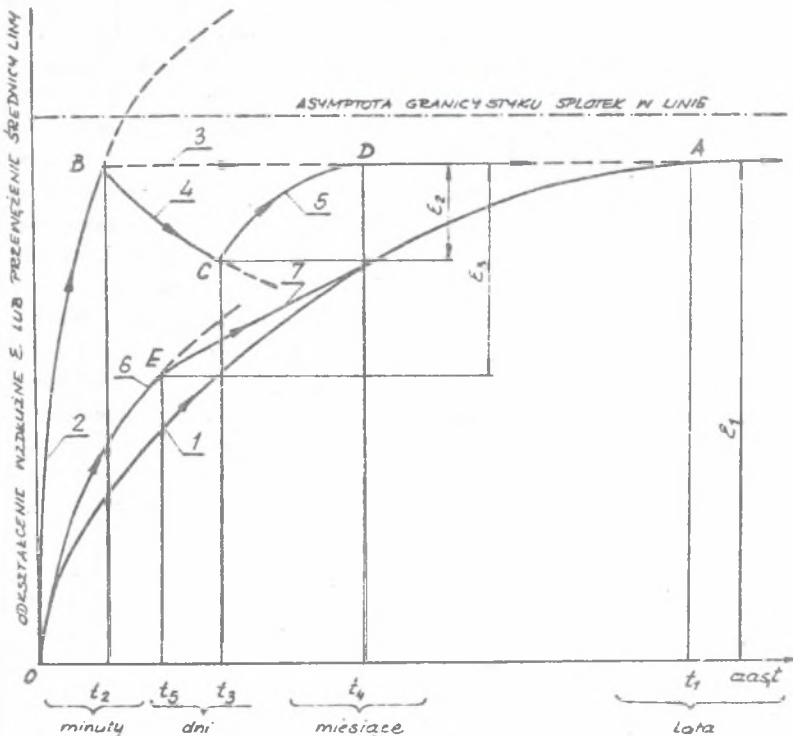


Rys. 8. Przekrój poprzeczny liny:

a - po jej wyprodukowaniu, b - po pewnym okresie eksploatacji lub jej wstępnym naciąganiu

Fig. 8. Rope cross - section:

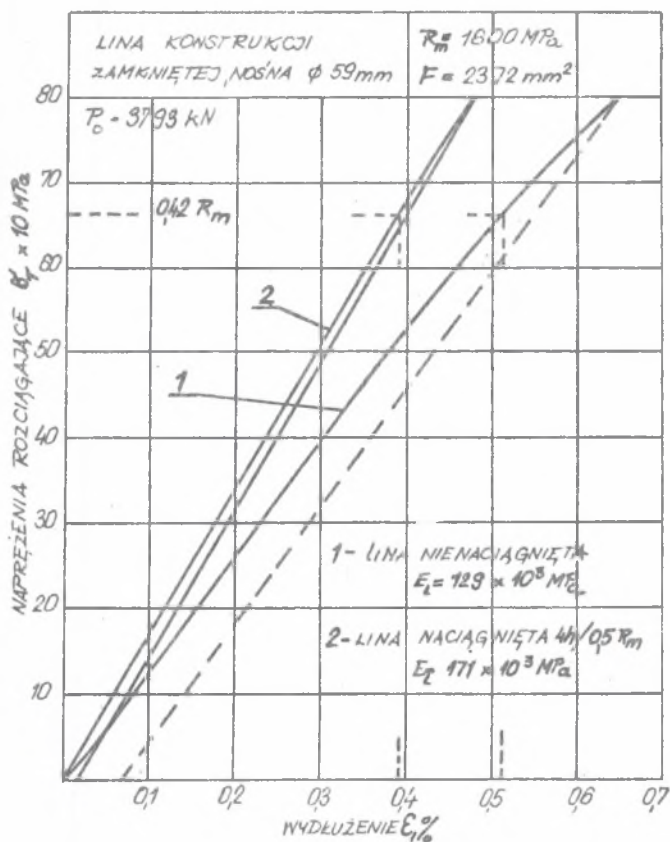
a - after her made, b - after some exploitation or prestretching



Rys. 9. Teoretyczny przebieg wydłużania lub przewężania się średnicy liny 1 - podczas jej eksploatacji, 2 - podczas wstępnego naciągania. Asymptota pozioma oznacza granicę styku spletek w linie

Fig. 9. Theoretical course of rope extension or contraction: 1 - during exploitation, 2 - during prestretching

Jeżeli zastosujemy wstępne naciąganie liny siłą znacznie większą od wielkości spotykanej podczas normalnej pracy liny, to większa siła i naciski powodują, że wydłużanie liny i redukcja jej średnicy zachodzi znacznie szybciej (krzywa 2 na rys. 9) niż podczas pracy. Wydłużenie ϵ_1 liny osiągnięte podczas pracy uzyskiwane jest w punkcie B już po czasie t_2 . Jeżeli w chwili t_2 przyłożona do liny siła rozciągająca ulega zmniejszeniu od wielkości wymaganej podczas naciągania, do wielkości spotykanej podczas eksploatacji liny, to podczas późniejszej pracy tej liny nie wystąpi dalsze istotne wydłużenie liny, jak to zaznaczono linią 3 na rys. 9. Wynika z tego, że odkształcenie liny ϵ_1 oraz związana z nim redukcja jej średnicy będzie całkowicie wyprzedzona (rys. 9). W praktyce jednak lina nie jest przekazana do eksploatacji bezpośrednio po jej wstępnym naciągnięciu. Jest ona najpierw nawijana na bęben magazynujący, ewentualnie przechowywana w magazynie, a dopiero potem zakładana do urządzenia transportowego. Siła rozciągająca w przedziale czasu t_2 do t_3 jest mała i rdzeń liny może częściowo wrócić do swojej pierwotnej postaci, jak pokazuje to krzywa 4 w wyniku czego zanika wydłużenie liny ϵ_2 osiągnięte podczas naciągania liny. W następstwie tego wystąpi wstępne początkowe wydłużenie liny po jej założeniu do urządzenia transportowego mimo, że lina ta była wstępnie naciągana (krzywa 5), jednakże wydłużenie to jest dużo mniejsze ϵ_2 zamiast ϵ_1 i występuje ono w krótszym przedziale czasu t_2 do t_4 zamiast t_2 do t_1 , który odpowiada linie nienaciąganej. Niekiedy stosuje się tak zwane "przeciąganie liny". Jednakże siła rozciągająca wywierana na linę w tym procesie nieznacznie przekracza obciążenie eksploatacyjne liny, dlatego wydłużenie liny jest w przybliżeniu takie jak przedstawia to krzywa 6. W punkcie E po upływie czasu t_5 , gdy lina nie jest dalej rozciągana obciążeniem wzrastającym lecz obciążenie rozciągające jest zmniejszone do wartości spotykanych podczas eksploatacji liny nie osiąga się wydłużenia roboczego liny ϵ_1 . Z tego powodu lina będzie dalej wydłużała się podczas eksploatacji jak pokazuje to krzywa 7, która dalej pokrywa się z krzywą 1. Ten sposób "przeciągania liny" można uznać jako częściowe wstępne naciąganie liny ponieważ zmniejsza on wydłużenie liny podczas pracy od wartości ϵ_1 do ϵ_3 . Dobrym przykładem wpływu wstępnego naciągania liny na jej wydłużenie jest przykład wpływu zabiegu wstępnego naciągania na wzrost modułu sprężystości podłużnej liny konstrukcji zamkniętej (rys. 10). Naciągnięcie tej liny siłą odpowiadającą naprężeniu w linie $0,5 R_m$ (gdzie R_m - wytrzymałość drutu na zerwanie) w ciągu 4 godzin spowodowało wzrost modułu sprężystości liny E_1 o 32,6% w stosunku do wielkości modułu sprężystości liny nie naciągniętej.



Rys. 10. Wpływ wstępnego naciągnięcia liny $\phi 59$ mm konstrukcji zamkniętej na wzrost modułu sprężystości podłużnej liny E_1 :

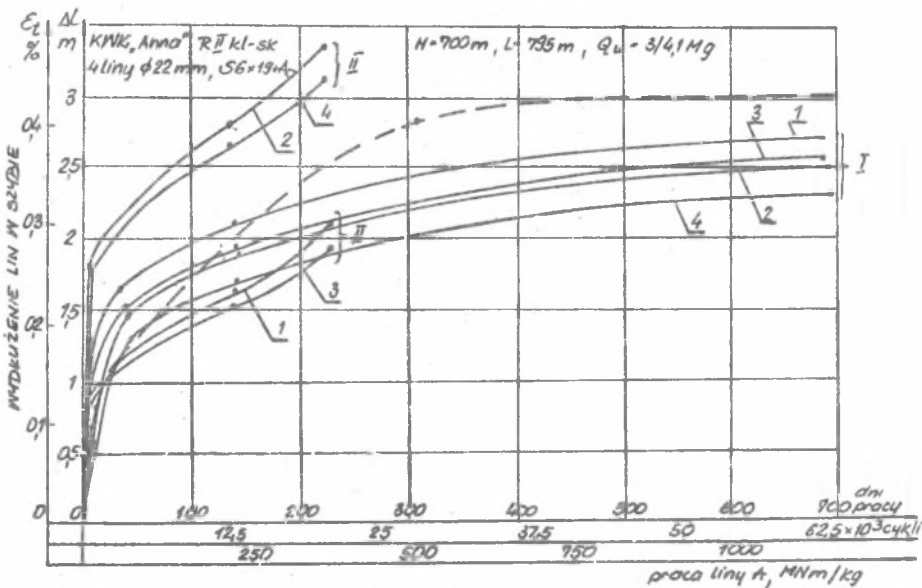
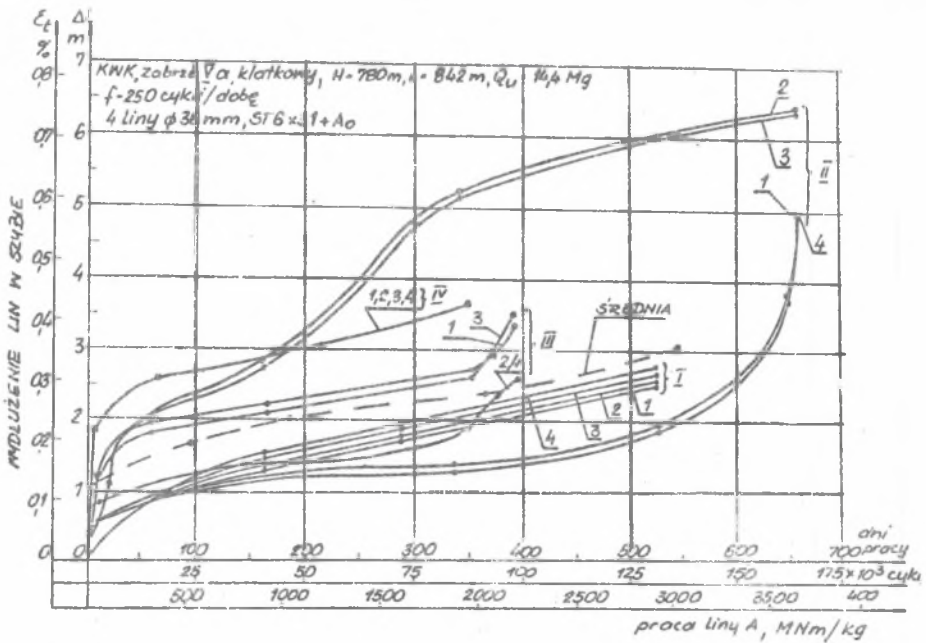
1 - lina nienaciągnięta, 2 - lina naciągnięta siłą $0,5 P$

Fig. 10. Effect of prestretching rope 59 mm diameter closed construction for Young's modul:

1 - rope no stretch, 2 - rope stretch with, $0,5 P$ force

3.2.1. Analiza wydłużeń eksploatacyjnych nośnych lin wyciągowych

W celu zorientowania się o charakterze przebiegu wielkości wydłużeń lin nośnych podczas całego okresu ich eksploatacji, to znaczy od momentu ich założenia aż do zdjęcia, w Instytucie Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej przeprowadzono analizę ich pracy w wybranych 40 urządzeniach wyciągowych 13 kopalń węgla kamiennego [4]. Wszystkie analizowane urządzenia wyciągowe były urządzeniami z maszynami wyciągowymi z kołem pędnym w tym: 23 - urządzenia jednolinowe, 15 - urządzenia osterolinowe, 2 - urządzenia dwulinowe. Na podstawie zapisów w książkach rewizyjnych kopalń dotyczących przebiegu skracania lin podczas ich eksploatacji sporządzono wykresy wydłużeń eksploatacyjnych 308 sztuk lin, z czego:

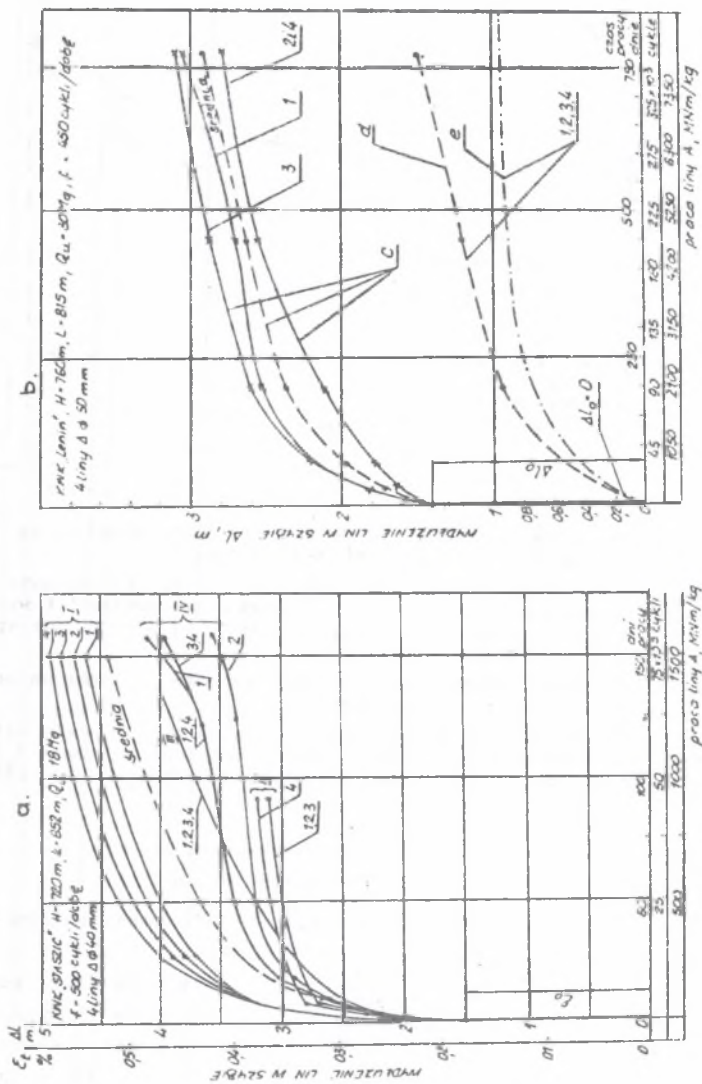


Rys. 11. Przebiegi wydłużeń eksploatacyjnych nośnych lin wyciągowych okrągłosplotkowych w urządzeniach czterolinowych klatkowych:

1, 2, 3, 4, numery lin, I do IV numeracja kompletów lin

Fig. 11. Course of round strand rope extension during exploitation in four rope cage hoist:

1, 2, 3, 4 - number of rope, I to IV - number of rope set

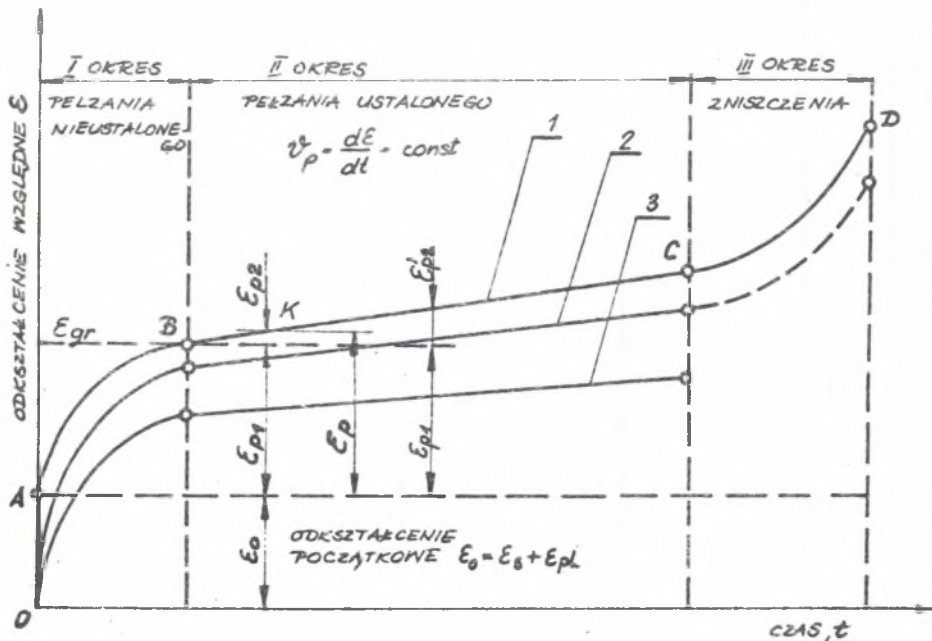


Rys. 12. Przebiegi wydłużeń eksploatacyjnych nośnych lin wyciągowych trójkątnopłótkowych w urzędzeniach ozterolinowych skłobów:

a - o średnicy 40 mm, b - o średnicy 50 mm, c - wydłużenia rzeczywiste, d, e - wydłużenia teoretyczne lin wstępnie naciągniętych, 1, 2, 3, 4 - numery lin, I do IV - numery kompletów lin

Fig. 12. Course of triangularstrand rope extension during exploitation in four rope skip hoists:

a - 40 mm diameter, b - 50 mm diameter, c - true extensions, d, e - theoretical extensions of prestretching ropes, 1, 2, 3, 4 - number of rope, I to IV - number of rope set



Rys. 13. Wykresy pełzania materiałów przyjęte do analizy wydłużania się lin wyciągowych podczas ich eksploatacji:

I - okres gwałtownego wydłużania nieustalonego, II - okres wydłużania ustalonego, III - okres zniszczenia: 1,2,3 - trzy podstawowe przypadki wydłużania lin ε_0 , ε_{pl} , ε_s , ε_e - odkształcenie początkowe, plastyczne, sprężyste i pełzania

Fig. 13. Diagram of material creep taken to the analysis of rope extension during exploitation:

I - period of vehemence incessant extension, II - period of steady extension, III - destroy period, 1,2,3 - three case of rope extension ε_0 , ε_{pl} , ε_s , ε_e - beginning deformation, plastic, elastic and creeping

- w 30 urządzeniach eksploatowane były liny trójkątnosplotkowe,
- w 10 urządzeniach eksploatowano liny okrągłosplotkowe.

W analizowanych urządzeniach wyciągowych skipowych ładowności skipów wynosiły 7,5 do 30 Mg, natężenie cykli pracy 300 do 650 cykli na dobę, głębokość ciągnięcia $H = 230 \div 800$ m, długość lin od zawiesia do zawiesia $L = 362 \div 895$ m. W analizowanych urządzeniach wyciągowych klatkowych ładowność klatek wynosiła 5 do 14,4 Mg, natężenie cykli pracy 150 do 300 cykli pracy na dobę, głębokość ciągnięcia $H = 340$ do 780 m, długość lin od zawiesia do zawiesia $476 \div 842$ m. Przykładowo na rys. 11 i 12 przedstawiono przebiegi wydłużeń eksploatacyjnych lin w kilku urządzeniach wyciągowych kopalń krajowych.

Z analizy przebiegów wydłużania się lin nośnych w szybach wynika, że są one podobne do wykresów pełzania materiałów rys. 13, w których możemy

wyróżnić trzy okresy: I - okres nieustalonego pełzania, II - okres ustalonego pełzania, III - okres zniszczenia.

W okresie pierwszym I prędkość wydłużania się liny jest zmienna i stopniowo maleje osiągając pewną wartość minimalną. W drugim okresie II proces wydłużania się liny jest ustalony i przebiega z minimalną stałą prędkością. W przypadku wydłużania się lin podczas eksploatacji najczęściej wykres wydłużania się liny kończy się na drugim okresie (krzywa 3) ponieważ po zakończeniu okresu drugiego liny są odkładane. Przeprowadzona analiza wykazała jednak, że w części analizowanych procesów wydłużania się lin nośnych występował trzeci okres wydłużania (krzywa 1 lub 2). W trzecim okresie III prędkość odkształcenia wzdłużnego liny w sposób ciągły wzrasta teoretycznie aż do zerwania liny. Zbyt późne odkładanie liny w trzecim okresie jej wydłużania stwarza zagrożenie dla bezpiecznej pracy urządzenia wyciągowego. Najczęściej całkowite względne wydłużenie liny podczas eksploatacji określane jest zależnością [4,6,7]:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_s + \varepsilon_t + \varepsilon_p \quad (1)$$

gdzie:

- ε_c - wydłużenie całkowite,
- ε_s - wydłużenie sprężyste,
- ε_t - wydłużenie trwałe,
- ε_p - wydłużenie reologiczne (eksploatacyjne).

Angielska firma British Ropes Ltd rozróżnia więcej rodzajów składowych wydłużeń lin podczas ich eksploatacji [12]:

- a - trwałe wydłużenie konstrukcyjne liny - spowodowane osiadaniem drutów w splotkach i splotek w linie (zmianą średnicy rdzenia liny i samej liny),
- b - wydłużenie sprężyste - spowodowane przyłożonym do liny obciążeniem i określane za pomocą wzoru Hooke'a do pewnej granicy,
- c - wydłużenie termiczne - spowodowane rozszerzaniem lub kurczeniem się konstrukcji liny podczas zmiany temperatury otoczenia liny,
- d - wydłużenie spowodowane obrotami swobodnego końca liny, np. podczas jej zakładania lub wymiany,
- e - wydłużenie spowodowane zużyciem wewnętrznym drutów w linie, które przyczynia się do zmniejszenia poprzecznego przekroju metalicznego liny, co z kolei przyczynia się do specjalnego dodatkowego konstrukcyjnego wydłużenia liny,
- f - wydłużenie trwałe niesprężyste - spowodowane wydłużeniem się materiału drutów, które wywołuje obciążenie przekraczające granicę plastyczności materiału drutu. Wydłużenia te może powstać kiedy stan liny pogorszy się w wyniku zmęczenia drutów lub korozji, która powoduje zmniejszenie się przekroju metalicznego liny.

Trwałe wydłużenie konstrukcyjne zależy od wielu czynników, z których najważniejsze to typ i konstrukcja liny, zmiana zakresu obciążenia liny, natężenie cykli pracy urządzenia wyciągowego. Firma British Ropes Ltd podaje, że wydłużenie to wynosi dla lin dwuzwitych z rdzeniem organicznym:

- przy obciążeniu dla $n > 8$ - $\epsilon = 0,25\%$ długości liny,
- przy obciążeniu dla $n = 6$ - $\epsilon = 0,5\%$ długości liny,
- przy obciążeniu dla $n < 5$ - $\epsilon = 1,0\%$ długości liny,
- przy obciążeniu dla $n < 5$ i dużej liczbie przegięć liny $\epsilon = 2\%$ długości liny,

n - współczynnik bezpieczeństwa liny na zerwanie.

Liny wyciągowe dwuzwite z rdzeniem metalowym wykazują około 50% mniejsze wartości trwałych wydłużeń konstrukcyjnych od podanych wyżej wartości.

W przypadku lin wyciągowych konstrukcji zamkniętej trwałe wydłużenie konstrukcyjne wynosi 0,25% długości liny (w tym bezpośrednio wydłużenie trwałe 0,08%, dodatkowe początkowe 0,08% oraz stopniowe 0,08%).

Analizę wydłużeń eksploatacyjnych krajowych nośnych lin wyciągowych przeprowadzono w postaci zależności wydłużania się lin od czasu pracy lin wyrażonego w dniach oraz od liczby cykli pracy liny i pracy lin A wyrażonej w MNm/kg masy liny. Dla każdego z 40 badanych urządzeń wyciągowych opracowano metodą najmniejszych kwadratów funkcje regresji krzywoliniowej w postaci:

$$\epsilon = B_0 + B_1 \cdot A + B_2 \cdot A^2 + B_3 \cdot A^3 \quad (2)$$

gdzie:

- B_0, B_1, B_2, B_3 - współczynniki regresji,
- A - praca liny wyrażona w MNm/kg liny,
- ϵ - wydłużenie liny całkowite w danym punkcie krzywej wydłużania.

Jednym z celów przeprowadzonej analizy wydłużeń eksploatacyjnych lin było określenie wielkości wydłużenia lin ϵ_{gr} , które odpowiada końcowi pierwszego okresu wydłużania się lin rys. 13, w którym wydłużanie lin jest najintensywniejsze. Znajomość ϵ_{gr} dla różnych konstrukcji lin może być wykorzystana jako jedna z metod do określenia wielkości siły wstępnego naciągania lin P_n .

Przeprowadzona analiza wykazała, że [4]:

- liny wyciągowe wydłużają się nie zawsze zgodnie z przyjętym modelem teoretycznym (rys.13). Różnice w wydłużeniach poszczególnych lin (kompletów lin) pracujących w tym samym urządzeniu wyciągowym są znaczne;
- wydłużenia eksploatacyjne lin pracujących w jednym komplecie urządzenia wielolinowego są do siebie zbliżone, a w niektórych przypadkach pokrywają się;

- liny poddane analizie pracowały w dwóch pierwszych okresach wydłużeń: nieustalonym - zanikającym i ustalonym, tylko w nielicznych przypadkach liny eksploatowane były w trzecim okresie powtórnych wydłużeń nieustalonych;
- dla około 50% analizowanych lin można precyzyjnie określić wartość $\bar{\epsilon}_{gr}$ rozdzielającą dwa pierwsze okresy wydłużeń;
- wartości średnie $\bar{\epsilon}_{gr}$ określone na podstawie krzywych wydłużeń eksploatacyjnych zawierają się w granicach $0,23 \div 0,85\%$ długości liny i osiągnięte były dla wskaźników pracy lin

$$A = 500 \div 2900 \text{ MNm/kg liny};$$

- maksymalne względne wydłużenia eksploatacyjne lin w badanych urządzeniach wyciągowych wynosiły $0,268 \div 1,788\%$ długości liny, co odpowiada wydłużeniom bezwzględnym $2,12 \div 11,3 \text{ m}$;
- średnie wartości wydłużeń eksploatacyjnych granicznych $\bar{\epsilon}_{gr}$ i odpowiadające im wartości \bar{A}_{gr} wynoszą:
dla lin okrągłosplotkowych

$$\bar{\epsilon}_{gr} = 0,29\% \quad \bar{A}_{gr} = 600 \text{ MNm/kg liny}$$

dla lin trójkątnosplotkowych

$$\bar{\epsilon}_{gr} = 0,45\%, \quad \bar{A}_{gr} = 1090 \text{ MNm/kg liny};$$

- przebiegi wydłużeń eksploatacyjnych dla lin o odmiennych konstrukcjach wyraźnie różnią się od siebie;
- wydłużenia eksploatacyjne lin okrągłosplotkowych są o około 30% mniejsze od wydłużeń lin trójkątnosplotkowych, dla takich samych wartości wskaźników pracy lin A . Szerzej problem wydłużeń eksploatacyjnych nośnych lin wyciągowych przedstawiony zostanie w oddzielnej pracy autora.

Z przedstawionych skrótkowo zalet wstępnego naciągania lin stalowych wynika, że można uzyskać znaczne korzyści przez stosowanie wstępnie naciągniętych lin w górniczych urządzeniach wyciągowych, szczególnie wielolinowych. Dotyczy to głównie ujednoczenia charakterystyk mechanicznych poszczególnych lin wpływających korzystnie na równomierność ich obciążeń i znacznego wyeliminowania trwałych wydłużeń eksploatacyjnych ograniczającego ilość skracań lin w szybach oraz możliwości wymiany jednej liny w komplecie dobrych pozostałych lin nośnych układu wielolinowego. W urządzeniu wielolinowym korzystne byłoby aby wydłużenia lin przebiegały teoretycznie tak jak krzywe d lub e rys. 12b, które obrazują jednakowe wydłużanie się wszystkich czterech lin nośnych jednakowo przy wyeliminowaniu trwałego początkowego wydłużenia liny Δl_0 , które występuje w przypadku

lin nienaciągniętych. Wydłużanie się lin według krzywych d lub e na rys. 12b zapewnia wstępne naciąganie lin.

4. URZĄDZENIA DO WSTĘPNEGO NACIĄGANIA LIN WYCIĄGOWYCH

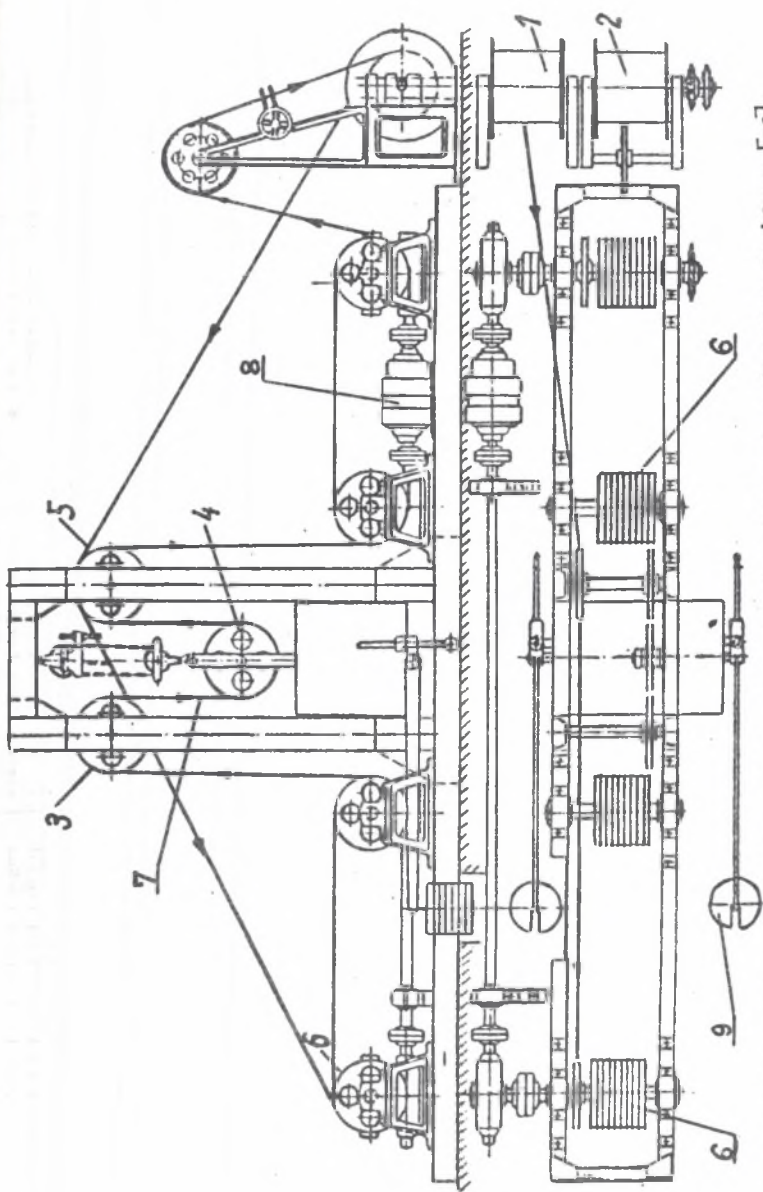
Z przeprowadzonego przeglądu literatury dotyczącej stabilizacji własności mechanicznych lin stalowych wynika, że urządzenia do wstępnego naciągania lin możemy podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- a - urządzenia wbudowane w ciąg technologiczny produkcji liny;
- b - specjalne oddzielne stanowiska do naciągania lin pracujące na zasadzie:
 - prostoliniowego rozciągania liny w całości lub odcinkami,
 - rozciągania liny przewijanej pomiędzy dwoma kołowrotami bębnowymi lub dwubębnowymi ciernymi lub pomiędzy kołowrotem ciernym dwubębnowym a kołem liniowym naciągającym.

Za pomocą wyżej wymienionych urządzeń można liny naciągać:

- statycznie i quasistatycznie w procesie stacjonarnym,
- statycznie, quasistatycznie oraz dynamicznie (pulsacja) podczas ciągłego przewijania pomiędzy dwoma kołowrotami lub pomiędzy kołowrotem ciernym a kołem naciągającym,
- statycznie (ciągłe naciąganie liny) podczas jej produkcji.

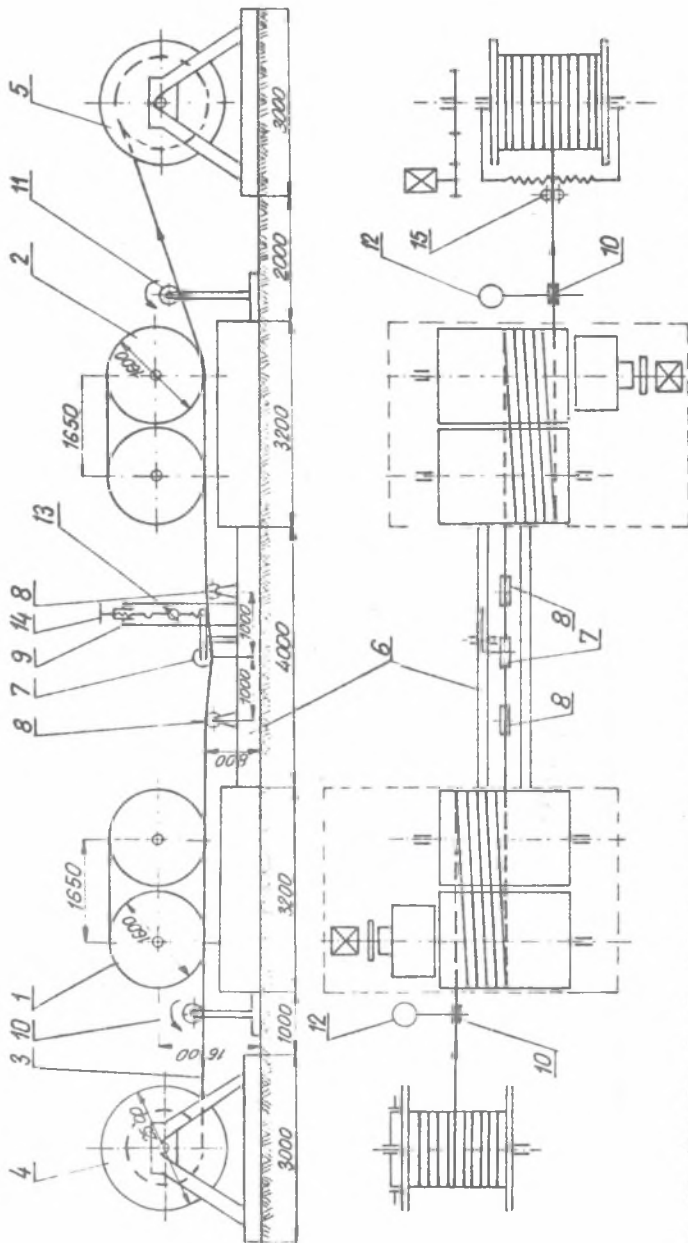
Jedno z pierwszych urządzeń przeznaczonych do wstępnego naciągania lin (rys. 14) wybudowano na początku lat 60 w ZSRR [13]. Wstępne naciąganie lin realizowane było bezpośrednio po wyjściu liny z maszyny liniarskiej. Liny naciągano siłą $P_n = 0,17, 0,2, 0,33, 0,5 P$. Podczas naciągania lina odwijana z bębna 1 przewijana była przez bębny linowe 6 i nawijana na bęben 2. Lina podczas przechodzenia przez koła poddawana była działaniu równomiernie wzrastającego obciążenia bez jakichkolwiek obciążeń udarowych czy zrywów. Największe obciążenie i największe wydłużenie lina uzyskuje pomiędzy pojedynczymi kołami 3, 4 i 5. Po przejściu liny przez te koła i wejściu w układy zblokowanych kół 6 obciążenie w linie stopniowo maleje. Badane na zginanie odcinki lin różnych średnic naciągnięte w przedstawionym stanowisku wykazały wzrost trwałości zmęczeniowej o 25 - 30%. Przegląd urządzeń przeznaczonych do wstępnego naciągania lin stosowanych za granicą i w kraju obszernie omówiono w pracach [2,4,9]. W Instytucie Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej przy współpracy z kopalnią "Jankowice" opracowano metodę wstępnego naciągania lin wyciągowych za pomocą dwu kołowrotów ciernych dwubębnowych rys. 15 [4]. W stanowisku tym lina 3 naciągana jest pomiędzy dwoma kołowrotami ciernymi dwubębnowymi 1 i 2, z których kołowrót 2 jest kołowrotem ciągnącym, a kołowrót 1 kołowrotem hamującym.



Rys. 14. Urządzenie do wstępnego naciągania lin stalowych o średnicy do 40 mm [13]:

1,2 - bębny linowe, 3,4,5 - koła linowe, 6 - bębny wielorokowe, 7 - naciągana lina, 8 - napęd, 9 - ciężary napinające

Fig. 14. Machine for prestretching of steel ropes to 40 mm diameter:
 1,2 - rope drums, 3,4,5 - rope wheels, 6 - many grooves drums, 7 - stretch rope, 8 - stretch weight

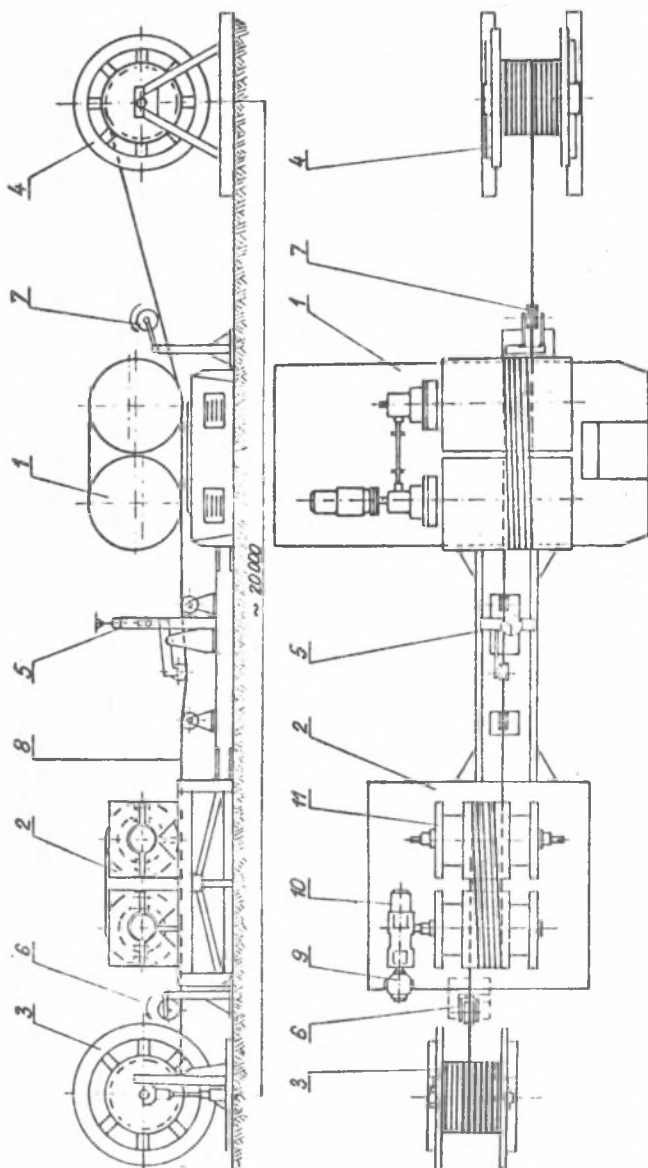


Rys. 15. Urządzenie do wstępnego naciągania lin stalowych według koncepcji IMG Pol. Śl. i KWK "Jankowice" variant I:

1, 2 - kołowroty ciernie dwubębnowe, 3 - naciągana lina, 4, 5 - bębny linowe magazynujące, 6 - konstrukcja stalowa, 7, 8, 9, 13, 14 - elementy dynamometru do pomiaru siły w linie, 10, 11, 12 - urządzenia do pomiaru drogi (wydłużenia) liny

Fig. 15. Installation for prestretching of steel ropes in conception of IMISTU and colliery "Jankowice" variant I:

1, 2 - frictional two drums windlass, 3 - stretch rope, 4, 5 - rope drums, 6 - steel constructions, 7, 8, 9, 13, 14 - dynamometer elements for force measuring in rope, 10, 11, 12 - installation for road measuring of rope

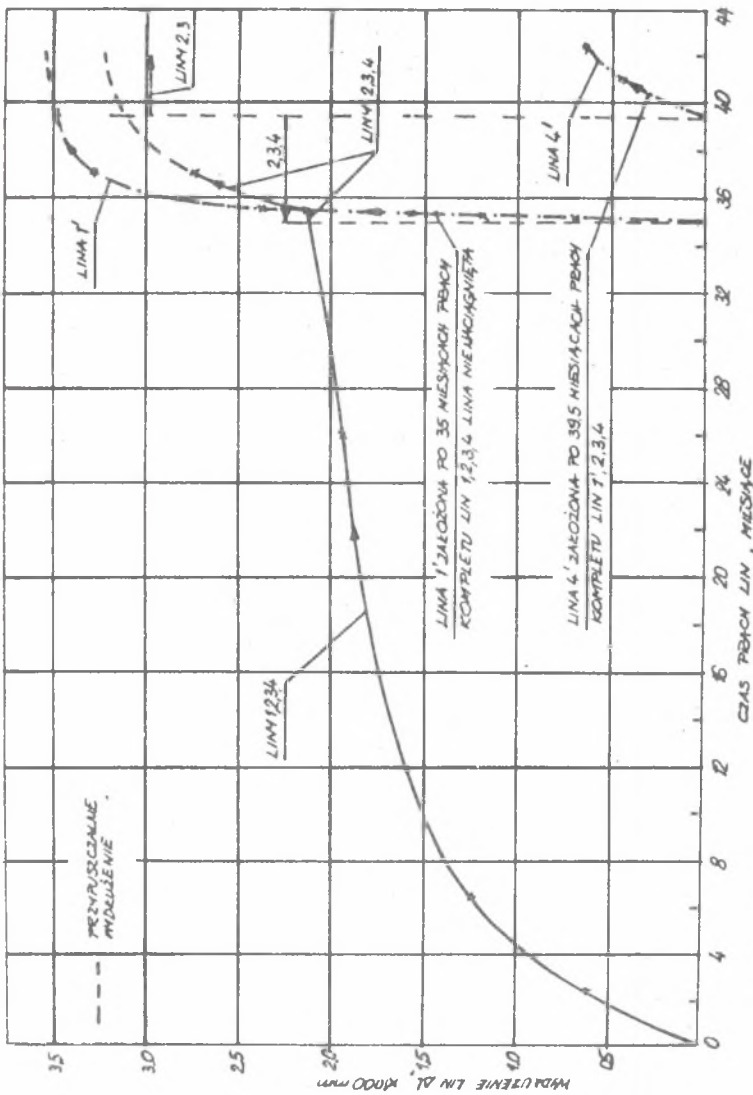


Rys. 16. Urządzenie do wstępnego naciągania lin stalowych według koncepcji ING Pol.Śl. i KVK "Jankowice" wariant II:

1 - kołowrót cierny dwubębnowy typu EPR, 2 - zespół hamujący, 3,4 - bębny linowe magazynujące, 5 - dynamometr do pomiaru siły w linie, 6,7 - liczniki drogi liny, 8 - naciągana lina, 9 - silnik hydrauliczny, 10 - przekładnia, 11 - bębny czarne zespołu hamującego

Fig. 16. Installation for prestretching of steel ropes - conception MMISTU and colliery "Jankowice" variant II:

1 - two drums windlass type EPR, 2 - brake installation, 3,4 - rope drums, 5 - dynamometer, 6,7 - counter of rope road, 8 - stretch rope, 9 - hydraulic engine, 10 - reductor, 11 - brake frictional drums



Rys. 17. Wykresy wydłużania się lin nośnych ϕ 48 mm konstrukcji W-S w urzędzeniu czterolinowym szybu VII KWK "Jankowice":
 1,2,3,4 - numery lin, 1', 4' - numery pojedynczo wymienionych lin

Fig. 17. Diagram of rope extension 48 mm diameter rope construction W-S in four rope hoist lift - shaft VII colliers "Jankowice":
 1,2,3,4 - number of ropes, 1', 4' - number of one rope exchange

Lina 3 z bębna magazynującego 4 po kilkakrotnym opasaniu bębnow ciernych kołowrotu hamującego 1 po przejściu przez urządzenie do pomiaru siły wstępnego naciągania liny 9 przewijana jest kilkakrotnie przez bębny cierne kołowrotu ciągnącego 2. Lina 3 po zejściu z kołowrotu naciągającego 2 nawijana jest na bęben magazynujący 5, który wyposażony jest w napęd pneumatyczny. Pomiar siły w linie oparto na znanej zasadzie dynamometru trójpodporowego, w którym koło 7 wywołuje poprzeczne ugięcie odcinka liny pomiędzy stałymi kołami 8. Obciążenie koła 7 dynamometru wywołane jest przez śrubę napinającą 14, która działa na dźwignię koła 7 za pomocą dynamometru hydraulicznego lub tensometrycznego 13. Różnica w długości liny mierzona jest za pomocą liczników drogi liny 10 i 11. Do wstępnego naciągania liny według przedstawionej koncepcji mogą być stosowane dowolne dwa kołowroty cierne dwubębnowe rys. 15 lub jeden kołowrót cierny dwubębnowy o odpowiedniej sile i specjalne urządzenie hamujące o nieskomplikowanej konstrukcji działające również na zasadzie kołowrotu ciernego dwubębnowego, rys. 16.

Do pierwszej próby wstępnego naciągania lin zastosowano dwa kołowroty cierne dwubębnowe typu EPR 650. Oczywiście jest, że siła wstępnego naciągania lin zależy od dopuszczalnych obciążeń kołowrotów EPR 650 do EPR 1200. Za pomocą dwu kołowrotów EPR naciągnięto próbnie jedną linę \varnothing 48 mm konstrukcji Warrington-Seale, którą założono do urządzenia wyciągowego czterolinowego kopalni Jankowice. W urządzeniu tym z powodu nadmiernego przyrostu pęknięć drutów jedna z lin kompletu czterech lin kwalifikowała się do wymiany. W myśl zaleceń należałoby w takim przypadku wymienić cały komplet lin. Zdecydowano się na wymianę tylko jednej liny nr 1 zamiast kompletu lin. Wymienioną linę nr 1 w ciągu pierwszych dwu miesięcy pracy należało skrócić sześć razy (rys. 17), co dało łączną długość skrócenia 3,28 m przy braku skracania pozostałych lin. Ponieważ po pewnym czasie eksploatacji zaistniała konieczność wymiany znowu jednej liny nr 4, postanowiono nowo zakładaną linę nr 4' wstępnie naciągnąć. Linę naciągnięto około 4,0 m i założono do urządzenia wyciągowego w listopadzie 1986 r. Po dwu miesiącach i jednym tygodniu eksploatacji linę tę skrócono dwukrotnie o łączną wielkość 0,65 m przy braku skracania pozostałych lin. Ta wielkość skrócenia 0,65 m liny wstępnie naciągniętej po nieco dłuższym okresie eksploatacji niż 2 miesiące była pięciokrotnie mniejsza od wielkości 3,28 m o jaką skrócono poprzednio linę nr 1 nienaciągniętą. Różnica więc była istotna. Naciągniętą linę zdjęto razem z całym kompletem lin, który już kwalifikował się do wymiany w 1987 r. Przeprowadzona próba zastosowania liny wstępnie naciągniętej w komplecie czterech lin dała wymierne korzyści.

5. WIELKOŚCI SIŁ WSTĘPNEGO NACIĄGANIA

Wielkość zastosowanego do wstępnego naciągania liny obciążenia zależy od konstrukcji i przeznaczenia liny oraz efektu końcowego jaki ohoemy uzyskać, a mianowicie likwidacji trwałych początkowych odkształceń wzdłużnych liny (wydłużenia konstrukcyjnego liny) i wzrostu trwałości zmęczeniowej czy tylko likwidacji wydłużeń trwałych.

Na podstawie dokonanego przeglądu literatury można stwierdzić, że stosowana wielkość siły wstępnego naciągania P_n dla lin ruchomych nie przekracza $0,5 P_0$ (P_0 - obliczeniowa siła zrywająca), a w przypadku lin stałych, np. stosowanych w budownictwie dochodzi do $0,80 P_0$. W przypadku lin ruchomych większe siły P_n eliminują częściowo wydłużenie trwałe i poprawiają trwałość zmęczeniową, a mniejsze P_n tylko eliminują wydłużenia. Firma British Ropes Limited stosuje $P_n = (0,2 \div 0,5) P_0$ dla zakresu lin do $d = 72$ mm, firma Austria Draht stosuje $P_n = (0,33 - 0,5) P_0$ dla lin do $d = 100$ mm, firma Trefil ARBED stosuje $P_n = 0,5 P_0$, stanowisko "Cuprum" przewiduje $P_n = (0,3 - 0,5) P_0$ dla $d = 36 \div 62$ mm, Stacja Badań lin w Bochum maksimum $P_n = 0,45 P_0$ dla $d = 12 \div 70$ mm, co odpowiada około trzykrotnej wartości obciążenia eksploatacyjnego, które wynosi $0,15 P_0$, w ZSRR w stanowisku UVK-1 siła $P_n = 0,3 P_0$, a w stanowisku UVK-2 siła $P_n = (0,3 \div 0,5) P_0$ w zależności od średnicy liny, w stanowisku wg koncepcji AGH $P_n = (0,25 \div 0,5) P_0$, w stanowisku IMG Pol.Śl. $P_n = (0,3 \div 0,5) P_0$. Wyżej wymienione zakresy stosowanej siły P_n dotyczą stanowisk stacjonarnych wybudowanych jako oddzielne urządzenia do operacji stabilizacji własności sprężystych lin. Podczas naciągania lin na urządzeniach wmontowanych w ciąg maszyny liniarskiej stosowane siły P_n są znacznie mniejsze (np. firma Fatzer AG, maksymalna siła $P_n = 340$ kN dla średnicy liny $d = 30 \div 43$ mm, podobnie w ZSRR siła $P_n \leq 0,3 P_0$). W większości krajów zaleca się aby lina naciągana znajdowała się pod obciążeniem przez pewien czas $1 \div 4$ godzin. Ponieważ minimalny efekt wynikły z wstępnego naciągania lin można już osiągnąć po zastosowaniu wstępnego obciążenia rozciągającego przekraczającego maksymalne obciążenie eksploatacyjne liny w danym urządzeniu wyciągowym, stosowane są również inne wielkości siły i sposoby naciągania lin, a mianowicie za pomocą:

- dwukrotnego statycznego obciążenia liny w ciągu $10 \div 15$ minut,
- siły równej 20% sumarycznej siły zrywającej wszystkie druty w linie za pomocą maszyny wyciągowej w ciągu 10 minut,
- siły równej 30% sumarycznej siły zrywającej wszystkie druty w linie na specjalnym urządzeniu służącym do wielowarstwowego nawijania lin pod naciąganiem na maszyny wyciągowe do głębienia szybów.

Wymienione wyżej metody naciągania lin możliwe są do realizacji w przypadku lin o małych i średnich średnicach.

Z wielu technologii wstępnego naciągania lin na uwagę zasługuje metoda opracowana przez Stację Badań Lin w Bochum. Ze względu na znaczne wydłużenie długich lin podczas ich naciągania, naciąganie liny przeprowadza się w dwu etapach. W pierwszym etapie należy rozciągać linę siłą 60 do 75% maksymalnie przewidzianej siły wstępnego naciągania P_n , czyli $P_{n1} = (0,6 \div 0,75) P_n$.

Przykładowo dla $P_n = 0,45 P_c$ otrzymamy $P_{n1} = (0,27 \div 0,338) P_c$. W drugim etapie należy naciągać siłą 100% P_n . Taki sposób naciągania zapewnia, że lina zostanie równomiernie naciągnięta na całej długości.

6. ZALECANE STOSOWANIE LIN WSTĘPNIE NACIĄGNIĘTYCH

Liny wstępnie naciągnięte wykazują mniejsze wydłużenie się podczas eksploatacji i zwiększoną trwałość zmęczeniową. Z tego względu liny te zaleca się do stosowania w następujących przypadkach:

- jeżeli nie jest pożądane ciągle wydłużanie się lin, np. dla mostów wiszących, masztów antenowych z ociągami dla urządzeń transportowych o małym naciągu (ponieważ lina musiałaby być często skracana) lub urządzeń o działaniu ciągłym, ponieważ w celu skrócenia liny urządzenia te należy zatrzymać,
- jeżeli jedna z wielu lin układu równoległego wielolinowego musi zostać odłożona z powodu przedwczesnego jej zużycia, a nowa lina powinna być naciągnięta w taki sposób, aby podczas późniejszej pracy rozciągała się tak jak pozostałe liny już eksploatowane,
- jeżeli zależy nam na uzyskaniu równomiernego rozkładu obciążeń lin w wyciągach wielolinowych,
- jeżeli do liny eksploatowanej wpleciony ma być nowy odcinek liny lub nowa splotka, wtedy należy linę lub splotkę naciągnąć w celu wyrównania długości splotek, aby były takie same na spletanym odcinku jak na pozostałej długości liny,
- jeżeli nie jest pożądana zmiana średnicy liny podczas jej eksploatacji, np. przy stosowaniu wprzęgieł krzesielek kolei osobowych lub innych uchwytów, gdzie dopuszczona jest bardzo mała tolerancja średnicy liny, bądź przy nawijaniu wielowarstwowym,
- jeżeli wymagamy liny o wysokiej wytrzymałości zmęczeniowej, a należy stosować linę o punktowym styku drutów w splotkach.

7. JAKIE NIEKORZYSTNE WŁAŚCIWOŚCI CECHUJĄ LINY WSTĘPNIE NACIĄGANIE

Wstępne naciąganie lin może mieć również niekorzystny wpływ na żywotność lin, zwłaszcza gdy nie uwzględną się następujących czynników:

- rdzeń liny należy tak wymiarować aby zapewniał wyeliminowanie stykania się spletek podczas rozciągania liny oraz w miejscu przyłożenia siły rozciągającej,
- oszczędność smaru fabrycznego w linie może ulec wyciśnięciu na zewnątrz liny podczas jej naciągania. W tym przypadku w zależności od przeznaczenia liny po jej zainstalowaniu należy smar w niej uzupełnić lub zgarnąć np. w wyciągach ciernych,
- z powodu niewielkiego ciągłego wydłużania się liny lub nawet jego braku, mocowania czy połączenia lin, np. splatanie nie wymaga częstych lub żadnych wymian. Aby te połączenia nie ograniczały trwałości lin, powinny one same charakteryzować się odpowiednią wytrzymałością oraz łatwą możliwością ich przeglądu, np. w kolejkach linowych.

8. WNIOSKI

1. Wstępne naciąganie lin stalowych wpływa korzystnie na wzrost trwałości zmęczeniowej lin minimum o 20 do 30% oraz na znaczne wyeliminowanie trwałych wydłużeń lin podczas eksploatacji.

2. W przypadku górniczych wyciągów wielolinowych wstępne naciąganie lin przyczyni się do bardziej równomiernego rozkładu obciążeń poszczególnych lin, wyeliminuje zbyt częste początkowe skracanie lin po ich założeniu oraz pozwoli na normalne stosowanie wymian pojedynczej przedwcześnie zużytej liny nośnej w komplecie pozostałych dobrych lin.

3. Wybór optymalnej metody naciągania lin, wielkości siły naciągającej i czasu jej przyłożenia zależy od warunków przyszłej eksploatacji lin. Wielkość siły wstępnego naciągania według dotychczasowych doświadczeń zagranicznych powinna wynosić około $(0,4 - 0,5) P_0$ obciążeniowej siły zrywającej linę.

4. Mało istotne jest czy naciąganie lin odbywa się w sposób ciągły lub odcinkowo etapami. Ważne jest to, aby lina była jednolicie naciągana na całej swej długości i nie powinna ulec uszkodzeniu w miejscu przyłożenia siły.

5. Istotne jest, aby lina po jej wstępnym naciągnięciu nawinięta została na bęben magazynujący z możliwie jaknajwiększym naciąganiem przy wyeliminowaniu luzów.

6. Wstępne naciąganie należy przeprowadzać prawidłowo ponieważ może mieć ono negatywny wpływ na trwałość liny.

7. Przypuszcza się, że zginanie liny podczas jej naciągania w niewielkim stopniu zwiększa wpływ naciągania na druty w linie. Nie ma zgodności co do tego czy zmienna siła rozciągająca zastosowana podczas naciągania liny zwiększa efekt naciągania, czy też skraca czas naciągania.

LITERATURA

- [1] Carbogno A.: Zagadnienie wstępnego naciągania lin stalowych. Biuletyn Techniczny ZPWN, Kraków 1978, Nr 1,3,5.
- [2] Carbogno A.: Urządzenia do wstępnego naciągania lin stalowych. Zeszyty Naukowo-Techniczne PWM, Kraków 1988, Nr 6.
- [3] Carbogno A., Suchoń J., Czaja J.: Badania własności wytrzymałościowych lin stalowych w układach wielolinowych przy obciążeniach dynamicznych. Etap III, cz.B. Praca naukowo-badawcza. Instytut Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej. Gliwice 1977.
- [4] Carbogno A., Konieczny S., Sala M.: Opracowanie metody i stanowiska do stabilizacji własności mechanicznych lin wyciągowych. Praca naukowo-badawcza. IMG Pol.Śl. Gliwice, Etap I - 1986, Etap II - 1987.
- [5] Chichlovskij A.B.: Eksperymentalnoje isledovanije vlijanija vytiażki na pierieraspredielenije usiliji po słożam kanata zakrytoj konstrukcji. Sb. Stalnye kanaty. Vyp.8 Izd. Tlechnika, Kiev 1971.
- [6] Hankus J.: Trwałe i oalkowite wydłużenie lin wyciągowych fabrycznie nowych. Prace GIG. Komunikat nr 682. Katowice 1977.
- [7] Hankus J.: Pełzanie stalowych lin wyciągowych. Przegląd Mechaniczny, 1986 Nr 15.
- [8] Hansel J., Kuleczka J.: Zagadnienie wstępnego obciążania lin stalowych. Zeszyty Naukowe AGH. Zeszyt specjalny. Kraków 1978.
- [9] Hansel J., Kandzia A., Jarno L.: Wybrane problemy stabilizacji własności mechanicznych lin stalowych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1988 Nr 12.
- [10] Kozlov V.T., Wysochin V.D.: Uluosenije ustalostnyh svoistv kanatnoj provoloki putjem uprugo-plasticeskoj vytiażki. Sb. Stalnye kanaty. Vyp. 2 Izd. Tlechnika, Kiev 1965.
- [11] Oplatka G.: The Prestretching of Ropes. Internationale Seilbahn-Rundschau. 1983 Heft 5.
- [12] Wire Rope Calculations for the Mining Industry. British Ropes Limited. Publication No 1112/1. Doncaster 1989.
- [13] Žitkov D.G., Pospiechov J.T.: Stalnye kanaty dlja pod'emnotransportnyh masin. Izd. Metalurgizdat. Moskva 1953.

Recenzent: Doc. dr inż. Tadeusz Zmysłowski

Wpłynęło do Redakcji w styczniu 1990

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ВЫТЯЖКА ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ КАНАТОВ

Р е з ю м е

Предварительная вытяжка стальных канатов влияет на повышение усталостной прочности канатов, а также на исключение значительных прочных удлинений шахтных подъемных канатов во время их эксплуатации. Предварительная вытяжка тоже влияет на уменьшение величины крутящего момента канатов, на изменение продольной, поперечной и крутильной жесткости канатов и на состояние конструкции канатов. Применение предварительно вытянутых канатов в шахтных многоканатных подъемных установках улучшает равномерное распределение усилий между канатами, исключает многократное укорочивание канатов и способствует применению безуровневых прицепных устройств подъемных сосудов. Позволяет на замену одного изношенного каната в комплекте головных канатов многоканатной подъемной установки, что улучшает экономию шахтных подъемных канатов. В работе приводятся результаты исследований влияния предварительной вытяжки стальных канатов на их усталостную прочность на растяжение и изгиб выполненных на кафедре Механизации горной промышленности Силезского политехнического института КИГПСИ. Представлено результаты анализа эксплуатационных удлинений шахтных головных канатов. Дается эскиз установки для предварительной вытяжки подъемных канатов разработанной на кафедре ИГПСИ, а также пример применения предварительно вытянутого каната диаметром 48 мм в одной из многоканатных подъемных установок в стране.

PRESTRETCHING OF HOIST ROPES

S u m m a r y

One of the technological manner which have an effect on increase of fatigue live wire rope and eliminating durable extension rope during their exploitation is prestretching of ropes before their instalation to the lift. Prestretching have a meaning on dwindle turn moment and change of lengthwise stiffnes, transverse stiffnes and twist stiffnes of rope. Using prestretching ropes in multiropes lifts improve uniform distribution of load in rope, eleminating very often reduce of ropes. It helps to change one wear rope in complete of lot hoist ropes winding. It improves economic and material management in minning. In this article we show effects of prestreching of hoist ropes for their fatigue live in case of stretching and bending load made by Minning Mechanization Institute of Silesian Technical University (MMISU). We show analysis of ropes exploitation extension and conception of instalation for prestretching made by MMISTU and colliery "Jankowice".

We show forces quantity using for prestretching by Polish and foreign firms and we show example of using prestretching rope for two EPR windlass for rope 48 mm diameter and hev using in faur rope hoist.