

Alfred CARBOGNO

Aleksander LUTYŃSKI

Instytut Mechanizacji Górnictwa
Politechnika Śląska, GliwicePOMIARY OBCIĄŻEŃ LIN NOŚNYCH W GÓRNICZYCH URZĄDZENIACH WYCIĄGOWYCH
WIELOLINOWYCH

Streszczenie. Podczas eksploatacji górniczych urządzeń wyciągowych wielolinowych bardzo ważne jest utrzymanie możliwie równomiernego rozkładu obciążeń poszczególnych lin nośnych. Do realizacji tego celu niezbędna jest więc kontrola obciążeń lin. Obecnie w świecie kontrolę obciążeń lin przeprowadza się różnymi metodami, na przykład za pomocą dynamometrów wbudowanych na stałe w elementy zawieszania naczyń (statimetry, dynamometry pierścieniowe GHH, przepony hydrauliczne), okresowo montowanych w zawieszaniach dynamometrów tensometrycznych (wkładek tensometrycznych w łącznikach regulacyjnych), dynamometrów nakładanych na liny okresowo na czas pomiaru oraz za pomocą metody falowej i częstotliwościowej. W kraju do tej pory stosowana jest wyłącznie metoda falowa i częstotliwościowa oraz czynione są próby z różnego rodzaju dynamometrami tensometrycznymi (Politechnika Śląska i AGH w Krakowie). Mając na uwadze brak w kraju prostych urządzeń do pomiaru obciążeń lin w wyciągach wielolinowych, o łatwej obsłudze, wystarczającej dokładności i zapewniających krótki czas trwania badań, opracowano w Instytucie Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej (IMG Pol. Śl.) zestaw dynamometrów nakładanych na liny, który przy zastosowaniu typowej aparatury pomiarowo-rejestrującej pozwala na badanie obciążeń lin podczas ich eksploatacji. Pomiar siły w linie dokonuje się metodą poprzecznego odginania liny pomiędzy dwoma podporami. Poprzeczna siła odginająca linę mierzona jest za pomocą pomiarowej tulei tensometrycznej pracującej na ściskanie. Przeprowadzono skalowanie zarówno tulei pomiarowych, jak i kompletów dynamometrów. Otrzymano liniowe charakterystyki skalowań. Przydatność prototypowego kompletu dynamometrów zweryfikowano przez przeprowadzenie badań obciążeń lin w kilku urządzeniach wyciągowych wielolinowych.

1. WSTĘP

Cechą szczególną wielolinowych urządzeń wyciągowych stosowanych w górnictwie jest występująca podczas ich eksploatacji nierównomierność obciążeń lin nośnych, która dochodzi nawet do 60% względem wartości średniej [1], [2], [3], [9-16]. Nierównomierność ta zależy głównie od długości i sztywności wzdłużnej lin, promieni przewijania lin na bębnie pędym i konstrukcji zawieszania naczyń wyciągowych. Rozkład naciągów w linach można uznać za wskaźnik techniczno-ekonomiczny, od którego w znacznej mierze

zależy bezpieczna i niezawodna eksploatacja wielolinowych urządzeń wyciągowych.

W krajowej jak i zagranicznej praktyce kontroli sił w linach poświęca się bardzo wiele uwagi [9, 11, 13, 16]. Dotychczas pomiarów obciążeń lin nośnych w urządzeniach wyciągowych wielolinowych dokonuje się za pomocą:

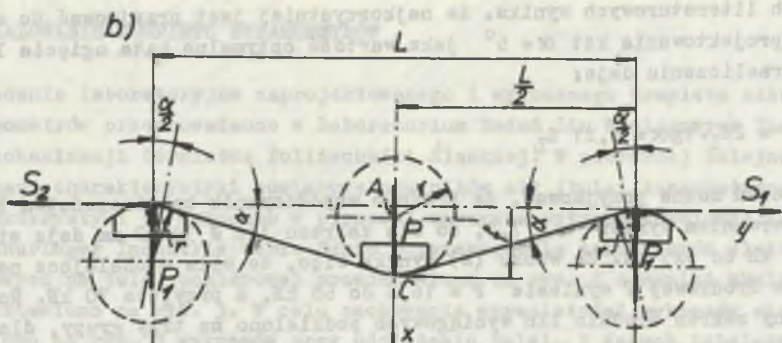
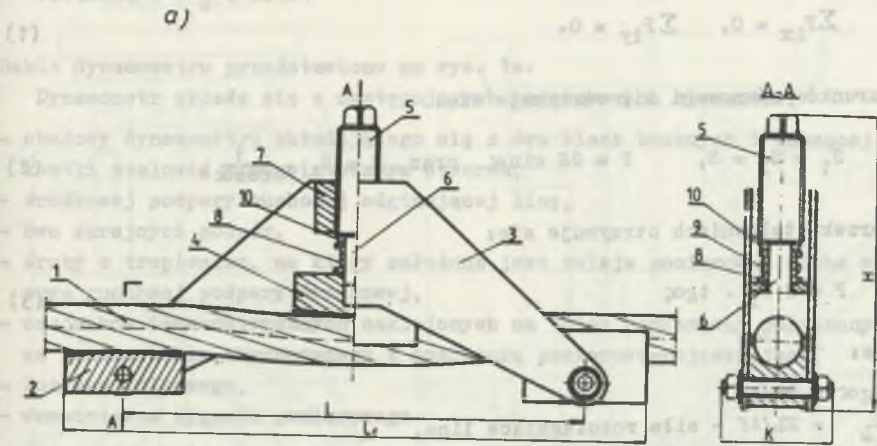
- metody falowej,
- metody częstotliwościowej,
- różnego rodzaju dynamometrów (statimetrów, przepon hydraulicznych, siłomierzy szczelinowych itd., wbudowanych na stałe w zawieszenia),
- wkładek tensometrycznych wmontowanych w łączniki zawieszzeń przy wykorzystaniu przesyłania sygnałów drogą przewodową lub bezprzewodową (telemetryczną),
- dynamometrów nakładanych na liny.

Szeroką analizę metod badań nierównomierności obciążeń lin nośnych w wyciągach wielolinowych przedstawiono w pracy [2].

W kraju do celów ruchowych oprócz kontroli obciążeń lin za pomocą metody falowej i częstotliwościowej [5], [8] nie stosuje się żadnych innych metod lub przyrządów z powodu ich braku. Mając powyższe na uwadze wykonano w 1984 r. w Instytucie Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej projekt i dokumentację techniczną typoszeregu prototypowych dynamometrów do pomiaru sił w linach, które umownie oznaczono symbolem dynamometr IMG Pol. Śl. Wykonano cztery prototypowe egzemplarze typu IMG-C1÷C4, które poddano badaniom laboratoryjnym oraz w celu sprawdzenia ich przydatności ruchowej przeprowadzono próbne pomiary obciążeń lin nośnych urządzenia wyciągowego wielolinowego szybu Głobry II KWK "Anna" [4]. W 1985 r. kontynuowano wymienioną tematykę, z tym że na podstawie wyników badań z 1984 r. i stwierdzonych mankamentów prototypów, dynamometry te udoskonalono zmniejszono znacznie ich masę własną, zwiększono czułość elementu pomiarowego). Za pomocą nowych dynamometrów przeprowadzono pomiary obciążeń lin nośnych w czterech urządzeniach wyciągowych KWK "Szczygłowice".

2. KONSTRUKCJA DYNAMOMETRU TYPU IMG POL. ŚL.

Z przeprowadzonej analizy sposobów pomiarów sił w linach wyciągowych wynika, że najwłaściwsza i najprostsza konstrukcja dynamometru może się opierać na metodzie pomiaru siły wzdłużnej w linie poprzez poprzeczne ugięcie odcinka liny pomiędzy dwoma podporami [3]. Konstrukcja dynamometru oparta na tej metodzie zapewnia teoretycznie łatwość jego obsługi i mały czas potrzebny na założenie dynamometrów na liny, przeprowadzenie pomiaru i demontaż, co jest niezwykle ważne ze względów ruchowych. Rozpatrując rozkład sił, jak na rys. 1b, przyjmuje się pewne założenia upraszczające, a mianowicie: że lina jest nieskończenie długa, nie ma sztywności poprzecznej, pominięto tarcie w krążkach i tarcie pomiędzy liną a rowkami



Rys. 1. Szkice

a - dynamometru typu IMG Pol. Śl. do pomiaru siły wzdłużnej w linie

- 1 - linia, 2 - podpora skrajna, 3 - korpus, 4 - ruchoma podpora środkowa, 5 - śruba odginająca linę, 6 - trzpień śruby, 7 - nagwintowana kostka metalowa, 8 - tuleja pomiarowa (tensometryczny czujnik siły), 9 - tensometry elektrooporowe, 10 - łożysko kulkowe, 11 - pierścień osadczy

b - rozkład sił w dynamometrze

Fig. 1. Sketches

a - dynamometr of type IMG, Tech. Univ. for power measuring in the rope

- 1 - rope, 2 - extreme support, 3 - body, 4 - moving middle support, 5 - bolt deflecting rope, 6 - bolt arbor, 7 - threaded metal block, 8 - measuring sleeve (extensometric power sensor), 9 - electro-resistant extensometers, 10 - ball bearing, 11 - settle ring

b - power distribution in dynamometers

kraźków oraz w rzutach sił pominięto jako mały kąt $\frac{\pi}{2}$. Warunki równowagi statycznej w układzie współrzędnych x, y dla punktu C są następujące:

$$\sum P_{ix} = 0, \quad \sum P_{iy} = 0. \quad (1)$$

Z warunków równowagi sił otrzymuje się:

$$S_1 = S_2 = S, \quad P = 2S \sin \alpha \quad \text{oraz} \quad S = S_L \cdot \frac{1}{\cos \alpha}, \quad (2)$$

po przekształceniach otrzymuje się:

$$P = 2 S_L \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (3)$$

gdzie:

$$\operatorname{tg} \alpha = 2f/L$$

$$S_L = PL/4f - \text{siła rozciągająca linę,}$$

$$f - \text{strzałka ugięcia liny,}$$

$$P - \text{siła odginająca linę,}$$

$$L - \text{odległość pomiędzy skrajnymi podporami.}$$

Z danych literaturowych wynika, że najkorzystniej jest przyjmować do obliczeń i projektowania kąt $\alpha = 6^\circ$ jako wartość optymalną kąta ugięcia liny, co po przeliczeniu daje:

$$P = 2S_L \cdot \operatorname{tg} \alpha = 0,21 S_L \quad (4)$$

Do obliczeń można przyjmować, że średnio współczynnik bezpieczeństwa liny przed zerwaniem wynosi $n = 7,5$, co dla zakresu lin $\varnothing 30-62$ mm daje siłę $S_L = 80$ kN do 325 kN. Ze wzoru (4) wynika więc, że siła odchalająca na podporze środkowej P wyniesie $P = 16,8$ do 63 kN, a przyjęto 70 kN. Rozpatrywany zakres średnic lin wyciągowych podzielono na trzy grupy, dla których przeprowadzono oddzielnie obliczenia wytrzymałościowe dynamometrów. Dynamometry przyjęto o wielkości:

wielkość A - dla lin $\varnothing 30+38$ mm

wielkość B - dla lin $\varnothing 40+52$ mm

wielkość C - dla lin $\varnothing 54+62$ mm

Wykorzystując zalecenia literaturowe [3], rozstaw podpór skrajnych L przyjęto dla wielkości A - 380 mm, B - 480 mm, C - 600 mm. Dla poszczególnych wielkości stosunek średnicy podpory do średnicy liny (przy przyjęciu podpory w kształcie segmentu łuku koła) wynosi:

$$\text{wielkość A} - \frac{D}{d} = 32+25$$

$$\text{wielkość B} - \frac{D}{d} = 28 \div 22$$

$$\text{wielkość C} - \frac{D}{d} = 24 \div 21$$

Szkic dynamometru przedstawiono na rys. 1a.

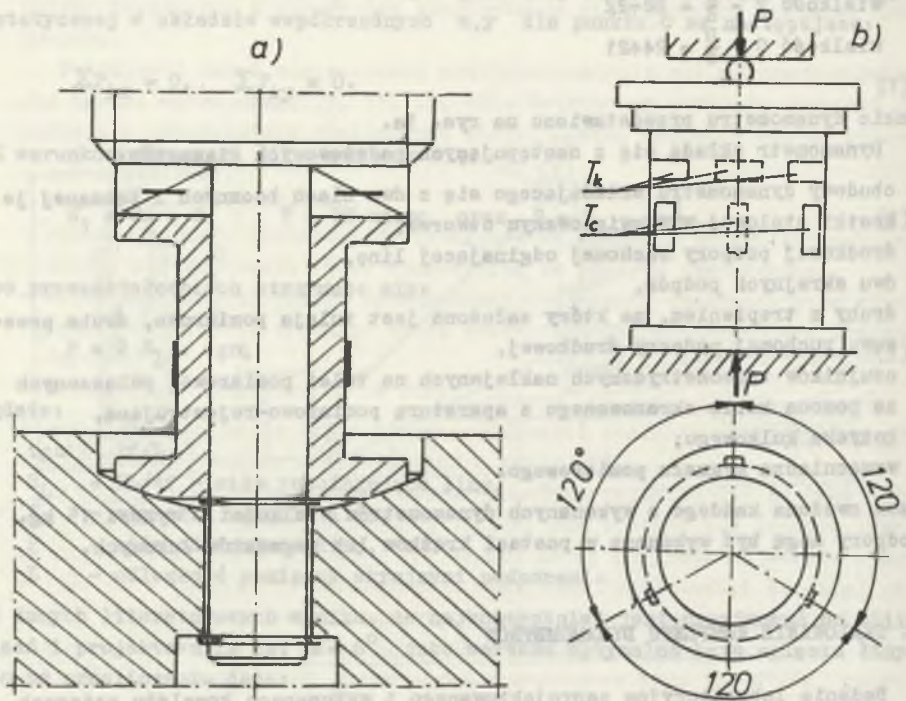
Dynamometr składa się z następujących podstawowych elementów:

- obudowy dynamometru składającego się z dwu blach bocznych i łączącej je kostki stalowej z nagwintowanym otworem,
- środkowej podpory ruchomej odginającej linę,
- dwu skrajnych podpór,
- śruby z trzpieniem, na który założona jest tuleja pomiarowa, śruba przesuwu ruchomej podpory środkowej,
- czujników tensometrycznych naklejonych na tulei pomiarowej połączonych za pomocą kabla ekranowanego z aparaturą pomiarowo-rejestrującą,
- łożyska kulkowego,
- wzmacniacza sygnału pomiarowego.

Masa zważona każdego z wykonanych dynamometrów wielkości C wynosi 15 kg. Podpory mogą być wykonane w postaci krążków lub segmentów łukowych.

3. SKALOWANIE KOMPLETU DYNAMOMETRÓW

Badania laboratoryjne zaprojektowanego i wykonanego kompletu czterech dynamometrów przeprowadzono w Laboratorium Badań Lin Wyciągowych Instytutu Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej. W pierwszej kolejności wykonano charakterystyki pomiarowe czujników sił (tulei tensometrycznych). Charakterystyki te wykonano w pionowej maszynie wytrzymałościowej firmy VEB Thüringer Industrie Werk. Szkic rozmieszczenia tensometrów elektrooporowych na tulei pomiarowej przedstawiono na rys. 2 a wyniki skalowania przedstawiono na rys. 3. W celu zachowania wyrazistości wykresów nie nanieśiono na rys. 3 wykresów przy odciążeniu tulei. Z danych tabelarycznych skalowania podanych w pracach [4], [6] wynika, że wykresy te przy obciążeniu i odciążeniu tulei praktycznie się pokrywają. Kolejnym etapem były badania wstępne i skalowanie kompletów dynamometrów. Szkic sposobu mocowania dynamometru IMG na linie podczas badań wstępnych i skalowania ilustruje rys. 4, a widok dynamometrów rys. 5. Celem tych badań było stwierdzenie, jakie warunki winny być spełnione podczas badań, aby zapewniono powtarzalność wyników pomiarów. Badania te polegały na wielokrotnym powtarzaniu pomiaru w tym samym lub różnych miejscach na linie, wykonywaniu pomiarów przy celowo różnych wstępnych przemieszczeniach podpory środkowej dynamometru (siłach odginania liny), różnych wstępnych przemieszczeniach podpory środkowej dynamometru (siłach odginania liny), różnych częstotliwościach odczytu. Wynikiem badań wstępnych były następujące ustalenia wykorzystane podczas skalowania dynamometrów:



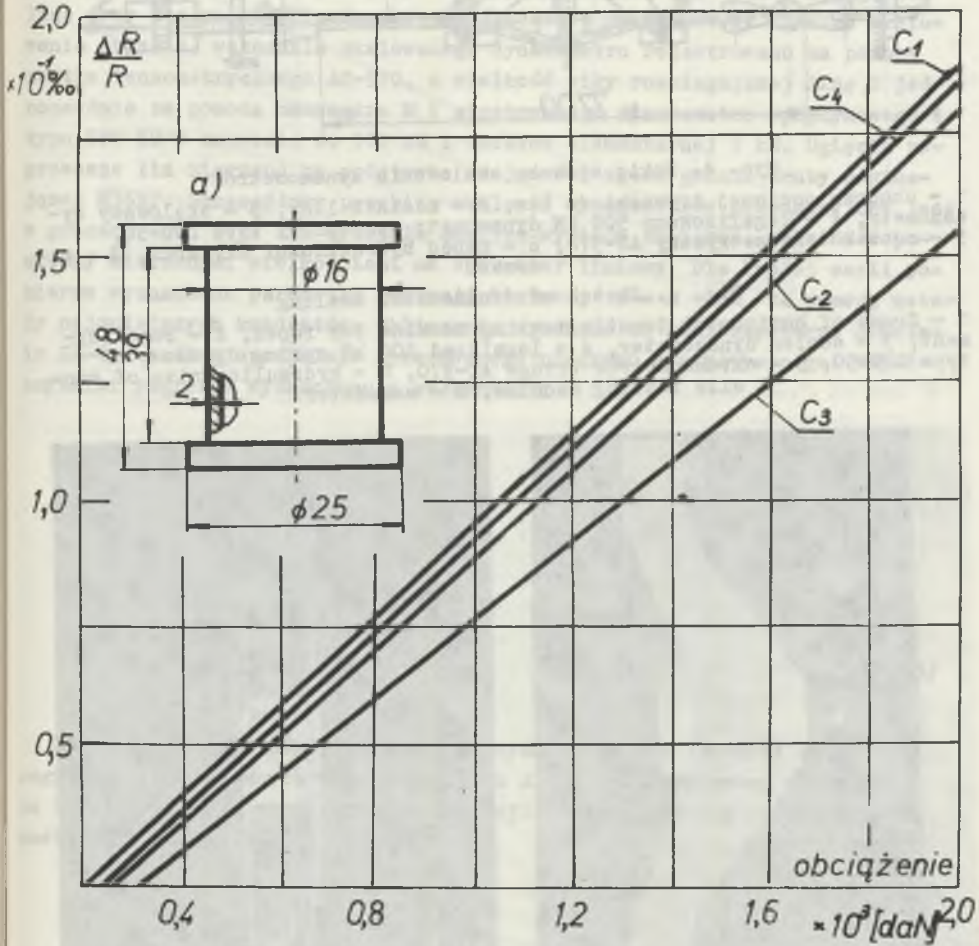
Rys. 2. Szkic tulei pomiarowej

a - usytuowanie w dynamometrze, b - rozmieszczenie tensometrów elektrooporowych

Fig. 2. Sketch of measuring sleeve

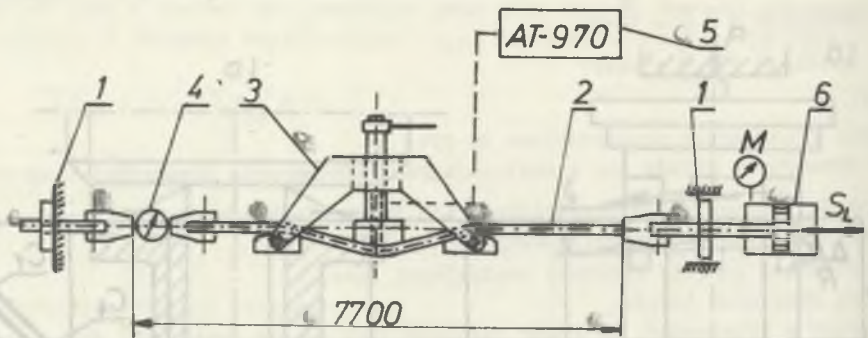
a - location in dynamometer, b - electro-resistance extensometer displacement

- dla określenia siły w linie wystarczający jest dwukrotny odczyt siły z tulei podpory środkowej dynamometru przy różnych wysunięciach podpory (ugięciach poprzecznych liny), np. 4 i 8 mm,
- przed skalowaniem dynamometru konieczne jest co najmniej trzykrotne wysunięcie podpory środkowej na wymaganą pomiarem wielkość,
- przy pomiarze siły mało znaczący jest docisk wstępny podpory środkowej do liny,
- chcąc dokonać skalowania dynamometru przy zmieniającej się sile rozciągającej linę, należy co najmniej trzykrotnie obciążyć linę (na której znajduje się dynamometr z podporą środkową wysuniętą na wielkość wymaganą pomiarem) siłą maksymalną, przy jakiej będzie prowadzony pomiar.



Rys. 3. Wykresy skalowania czterech tulei pomiarowych
 a - szkic tulei pomiarowej, C1+C4 - oznaczenia tulei pomiarowych

Fig. 3. Diagrams of scaling 4 measuring sleeves
 a - sketch of measuring sleeve, C1+C4 - designations of measuring sleeves

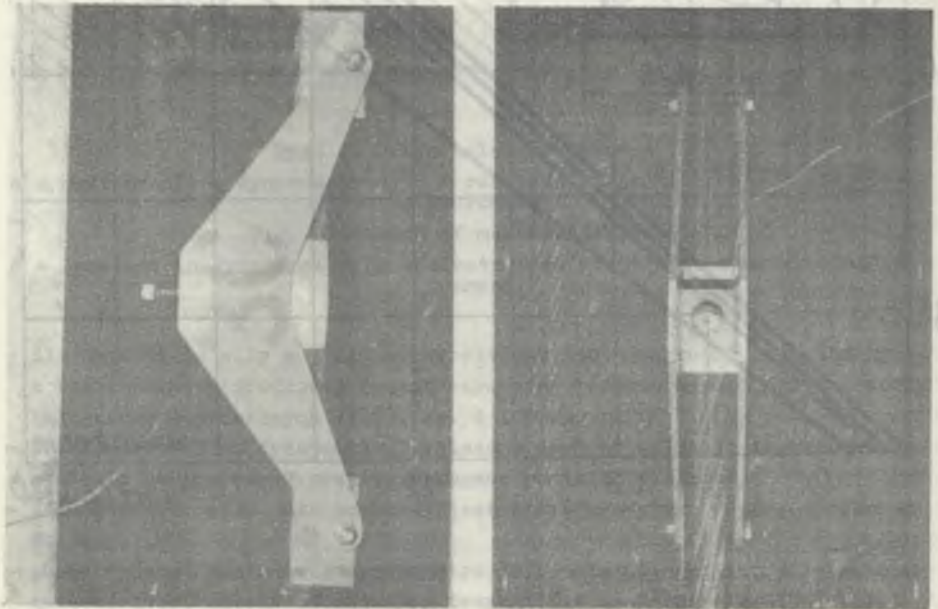


Rys. 4. Szkic sposobu skalowania dynamometrów

1 - obudowa poziomej zrywarki do lin, 2 - odcinek liny, 3 - skalowany dynamometr, 4 - legalizowany 500 kN dynamometr sprężynowy typu DPU-50, 5 - mostek tensometryczny AT-970, 6 - napęd hydrauliczny zrywarki, M - manometr

Fig. 4. Sketch of dynamometer scaling

1 - frame of horizontal tensile testing machine for ropes, 2 - rope segment, 3 - scaled dynamometer, 4 - legalized 500 kN spring dynamometer - type DPU-50, 5 - extensometric bridge AT-970, 6 - hydraulic drive of tensile testing machine, M - manometer



Rys. 5. Widok dynamometru typu IMG Pol. Śl. podczas skalowania w poziomej maszynie wytrzymałościowej

Fig. 5. View of dynamometer - type IMG Tech. Univ. of Silesia during scaling in the horizontal resistance machine

Zgodnie z powyższymi ustaleniami przeprowadzono kilka serii pomiarów dla różnych średnic lin, mających na celu poprawne wyskalowanie dynamometrów. Skalowania przeprowadzono na linach trójkątnospłotkowej \varnothing 50, 56, 62 mm oraz okrągłosplotkowej \varnothing 36 mm. Skalowanie polegało na określeniu zależności pomiędzy $\frac{\Delta R}{R}$ (gdzie R - oporność tensometru elektrycznego) a wysunięciem podpory środkowej przy stałej sile rozciągającej linę oraz na znalezieniu zależności pomiędzy $\frac{\Delta R}{R}$ a zmieniającą się siłą rozciągającą linę przy stałym wysunięciu podpory środkowej dynamometru. Podczas skalowania (rys. 4) wskazania skalowanego dynamometru rejestrowano za pomocą mostka tensometrycznego AT-970, a wielkość siły rozciągającej linę S jednocześnie za pomocą manometru M i atestowanego dynamometru sprężynowego 4 typu DPU-50 o zakresie do 500 kN i działce elementarnej 5 kN. Ugięcia poprzeczne lin mierzono na podstawie znajomości skoku gwintu śruby odginającej M36x2. Szczegółowy przebieg skalowań dynamometrów przedstawiony jest w pracach [6], [7]. Jak wykazała analiza wyników skalowań, zależność pomiędzy mierzonymi wielkościami ma charakter liniowy. Dla każdej serii pomiarów wyznaczono parametry regresji liniowej $Y = A + BX$ za pomocą metody najmniejszych kwadratów. Obliczenia wykonano na minikomputerze Sinclair ZX-81 według specjalnie opracowanego programu statystycznego. Współczynniki regresji wyznaczono z zależności:

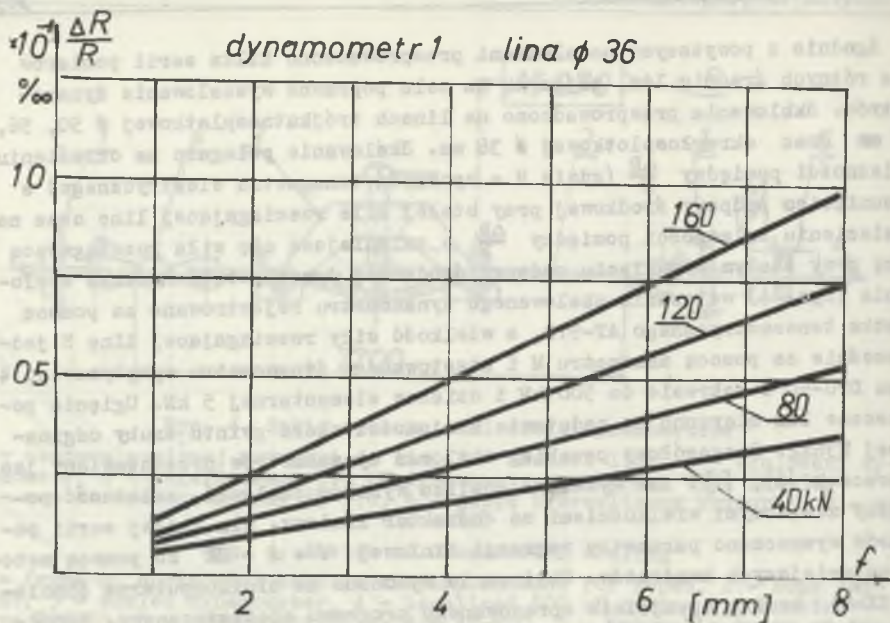
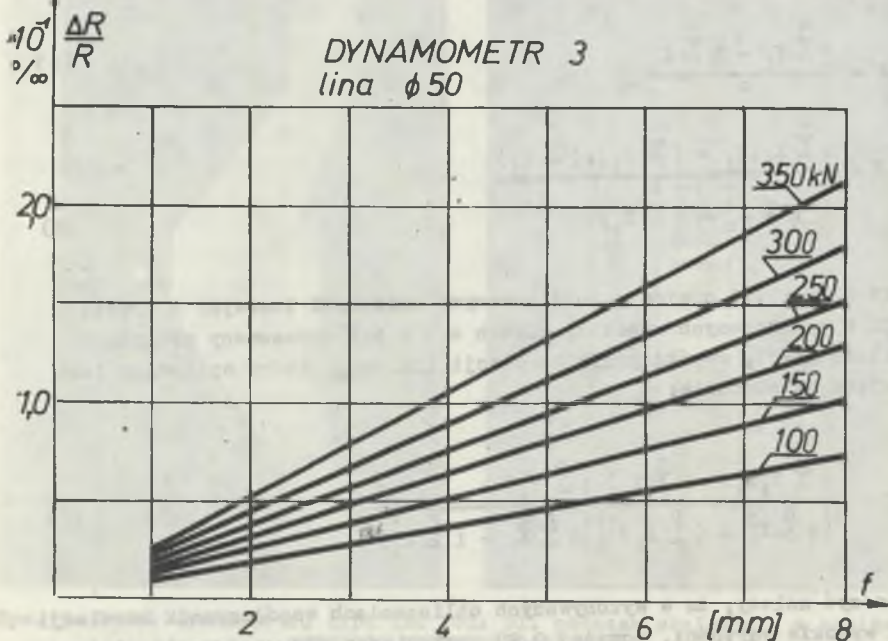
$$A = \frac{n \sum Y_i - B \sum X_i}{n} \quad (6)$$

$$B = \frac{n \sum X_i \cdot Y_i - (\sum X_i) \cdot (\sum Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (5)$$

Miara siły więzi pomiędzy analizowanymi zmiennymi losowymi a prostą regresji o wyznaczonych współczynnikach A i B był opracowany programem na Sinclair ZX-81, współczynnik korelacji liniowej, który opisywany jest następującą zależnością:

$$r = \frac{n \sum X_i Y_i - (\sum X_i) \cdot (\sum Y_i)}{\left[n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2 \right] \left[n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2 \right]} \quad (7)$$

Zaznaczyć należy, że w wykonywanych obliczeniach współczynnik korelacji osiągał wysokie wartości, powyżej 0,99, zmieniając się na trzecim miejscu po przecinku. Wyznaczone dla poszczególnych serii badań współczynniki regresji A i B były podstawą obliczenia wartości średnich A_{sr} i B_{sr} dla

Rys. 6. Przykładowe wykresy skalowania dynamometrów dla liny ϕ 36Fig. 6. Exemplary diagrams of scaling the dynamometers for rope ϕ 36Rys. 7. Przykładowe wykresy skalowania dynamometrów dla liny ϕ 50Fig. 7. Exemplary diagrams of scaling the dynamometers for rope ϕ 50

danej siły w linie oraz danego wysunięcia podpory środkowej dynamometru. Analiza wyników skalowania wykazała, że w miarę wzrostu siły w linie wzrasta wartość współczynnika regresji B. Zmiana ta ma charakter liniowy, co pozwala na wyznaczenie prostej opisującej zależność pomiędzy siłą w linie a współczynnikiem regresji B. Charakter tej zależności opisać można jako:

$$B = C + DX . \quad (8)$$

W pracy [6] wyznaczono te parametry dla każdej średnicy liny i wykonano odpowiednie wykresy, będące ich obrazem graficznym. Przykładowo na rysunkach 6 i 7 przedstawiono wybrane wykresy skalowania.

4. BADANIA OBCIĄŻEN LIN NOŚNYCH W URZĄDZENIACH WYCIĄGOWYCH WIELOLINOWYCH

Przy wykorzystaniu omówionego kompletu dynamometrów przeprowadzono badania obciążeń lin nośnych w urządzeniach wyciągowych wielolinowych KWK "Anna" i "Szczygłowice". Schemat urządzenia wyciągowego oraz sposób rozmieszczenia dynamometrów na linach przedstawiono na rys. 8, a widoki dynamometrów nałożonych na liny i aparatury pomiarowo-rejestrującej na rysunku 9.

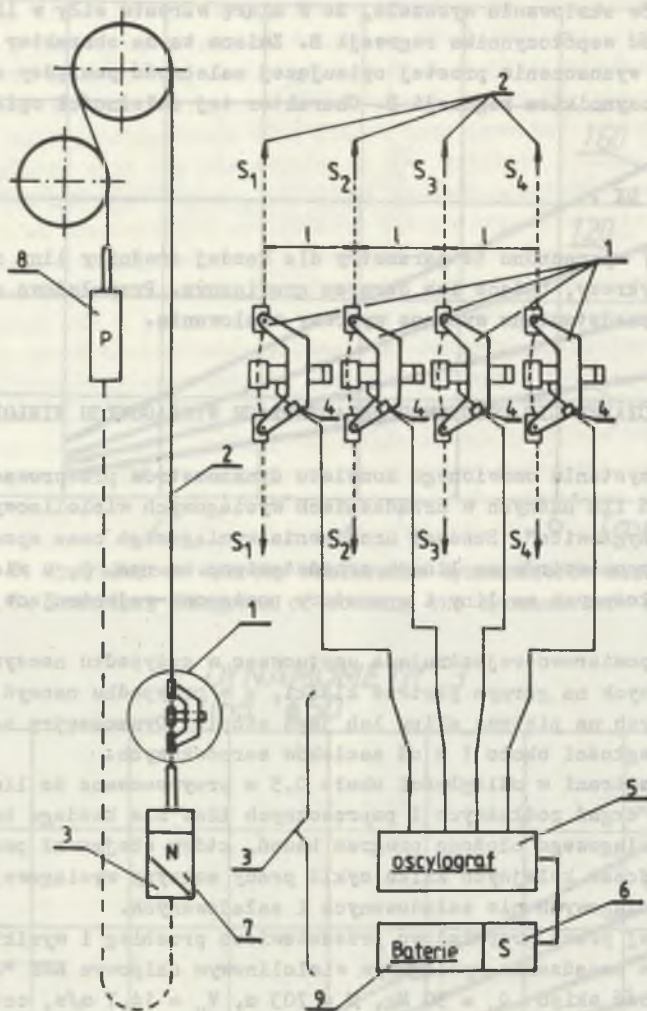
Aparaturę pomiarowo-rejestrującą usytuowano w przypadku naczyń wyciągowych klatkowych na górnym piętrze klatki, a w przypadku naczyń wyciągowych skipowych na piętrze skipu lub jego stopie. Dynamometry zakładano na liny w odległości około 1 m od zacisków sercówkowych.

Nad dynamometrami w odległości około 0,5 m przymocowano do lin czujniki do pomiaru drgań podłużnych i poprzecznych lin. Dla każdego badanego urządzenia wyciągowego ułożono program badań, który obejmował pomiar obciążeń lin podczas kolejnych kilku cykli pracy maszyny wyciągowej przy naczyniach wyciągowych nie załadowanych i załadowanych.

W niniejszej pracy przykładowo przedstawiono przebieg i wyniki badań obciążeń lin w urządzeniu wyciągowym wielolinowym skipowym KWK "Szczygłowice" (ładowność skipu $Q_u = 30$ Mg, $H = 703$ m, $V_u = 14,7$ m/s, cztery liny nośne konstrukcji trójkątnosplotkowej o średnicy 50 mm).

Po założeniu dynamometrów na liny oraz umieszczeniu aparatury pomiarowo-rejestrującej na stopie skipu (dynamometry były połączone z aparaturą za pomocą kabli elektrycznych) wykonano próbne jazdy. Po wykonaniu próbnych jazd, podczas których kontrolowano przebieg plamek w wzierniku oscylografu założono taśmę oscylograficzną i wykonano rejestrację zmian obciążeń w linach podczas kilku cykli jazdy skipu, a mianowicie:

- jazda nr 1 z prędkością normalną skipem nie załadowanym z nadszybia do stacji załadowczej w podszybiu oraz z powrotem przy $v = 6$ m/s,

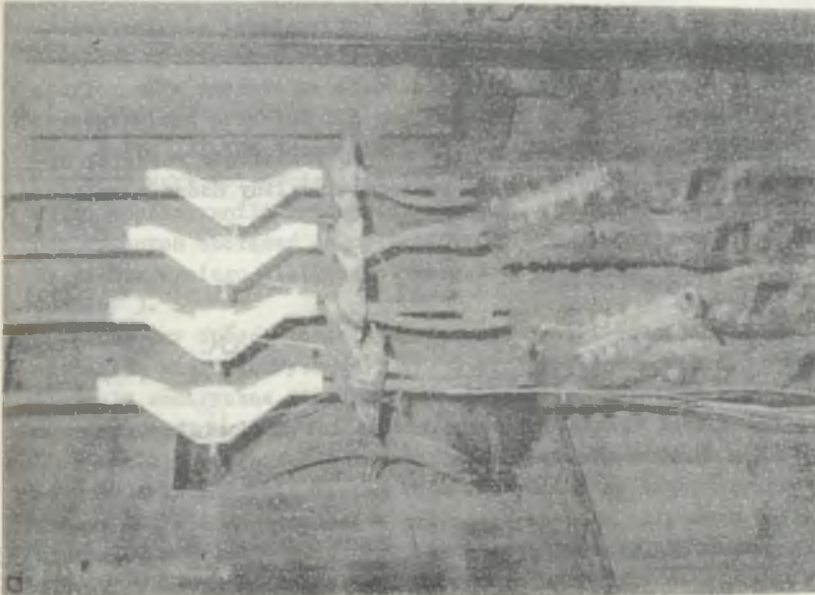
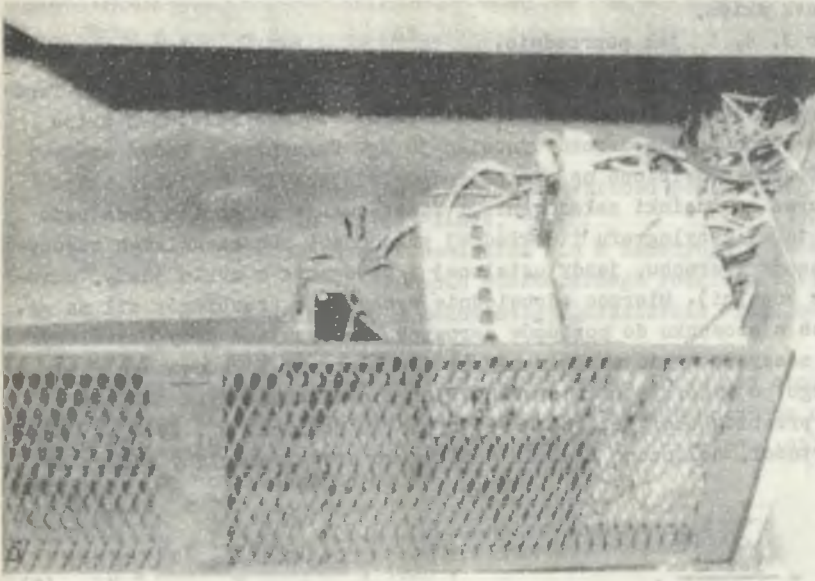


Rys. 8. Schemat urządzenia wyciągowego wielolinowego oraz sposób rozmieszczenia dynamometrów IMG na linach nośnych oraz schemat blokowy aparatury pomiarowej

1 - dynamometry, 2 - liny nośne, 3 - miejsce usytuowania aparatury w skapie, 4 - wzmacniacz sygnałów, 5 - oscylograf K12-22, 6 - stabilizator, 7, 8 - naczynia wyciągowe, 9 - zasilanie

Fig. 8. Scheme of multirope lifting device and the way of dynamometers IMG displacement on lifting rope and block of measurement apparatus

1 - dynamometers, 2 - lifting ropes, 3 - apparatus location in skip, 4 - signal amplifier, 5 - oscillograph K12-22, 6 - stabilizer, 7, 8 - lifting vessels, 9 - supply



Rys. 9. Widoki

a - dynamometrów założonych na liny nośne w szybie, b - aparatury pomiarowo-rejestrującej na piętrze skipu

Fig. 9. Views

a - dynamometers put on lifting ropes in the shaft, b - measurement-register apparatus on the skip floor

- jazda nr 2 skipem niezaladowanym z nadszybia do podszybia, załadunek skipu urobkiem $Q_u = 30$ Mg i jazda skipem załadowanym do nadszybia, rozładunek skipu,
- jazda nr 3, 4, 5 jak poprzednio.

Wychylenie plamki w rejestratorze 1 cm odpowiadało napięciu 1 V. Prędkość taśmy oscylografu wynosiła $v_s = 16$ mm/s. Podczas załadunku skipu urobkiem zważona porcja urobku wynosiła 30 Mg. Otrzymane z badań taśmy oscylograficzne podzielono na odcinki odpowiadające 100 m jazdy skipu w szybie oraz na odcinki załadowania i rozładowania skipu (na podstawie prędkości taśmy oscylografu i dokładnej znajomości poszczególnych rzeczywistych czasów rozruchu, jazdy ustalonej i hamowania w cyklu jazdy, zmierzonych na kopalni). Mierząc odpowiednie wychylenia przebiegów sił na oscylogramach w stosunku do poziomów zerowych, występujące przy określonym położeniu naczynia wyciągowego w szybie dla naczynia załadowanego i nie załadowanego po wykorzystaniu charakterystyk skalowania dynamometrów, określono przebieg obciążeń poszczególnych lin nośnych S_{p1} do S_{p4} . Znając te wartości, obliczono średnie pomierzone obciążenie liny według zależności:

$$S_{p\acute{s}r} = \frac{\sum_{i=1}^w S_{pi}}{w}, \quad (9)$$

gdzie:

- S_{pi} - pomierzone obciążenia poszczególnych lin,
- $i = 1, 2, 3, 4$, - numer liny,
- w - liczba lin.

Następnie wyznaczono na podstawie otrzymanych przebiegów rozdział obciążenia całkowitego przypadającego na poszczególne liny nośne z zależności:

$$t = \frac{S_{pi}}{\sum_{i=1}^w S_{pi}} \cdot 100\% \quad (10)$$

W dalszej kolejności wyznaczono przeciążenia lub niedociążenia poszczególnych lin ΔS_{pi} w stosunku do wartości średniej $S_{p\acute{s}r}$

$$\Delta S_{pi} = \frac{S_{pi} - S_{p\acute{s}r}}{S_{p\acute{s}r}} \cdot 100\% \quad (11)$$

Oprócz powyższego wyznaczono także współczynniki zmienności obciążeń lin według zależności:

$$z = \frac{S_{pi_{max}} - S_{pi_{min}}}{S_{kn} - S_{kp}} = \frac{\Delta S_{pi_{max}}}{\Delta S_k}, \quad (12)$$

gdzie:

- $S_{pi_{max}}$, $S_{pi_{min}}$ - maksymalna i minimalna wartość pomierzonego obciążenia w i -tej linii,
 S_{kn} , S_{kp} - obciążenia nominalne lin w nadszyciu i podszyciu (przy założeniu równomiernego rozkładu obciążeń) wynikające z dokumentacji urządzenia wyciągowego (aktu koncesyjnego).

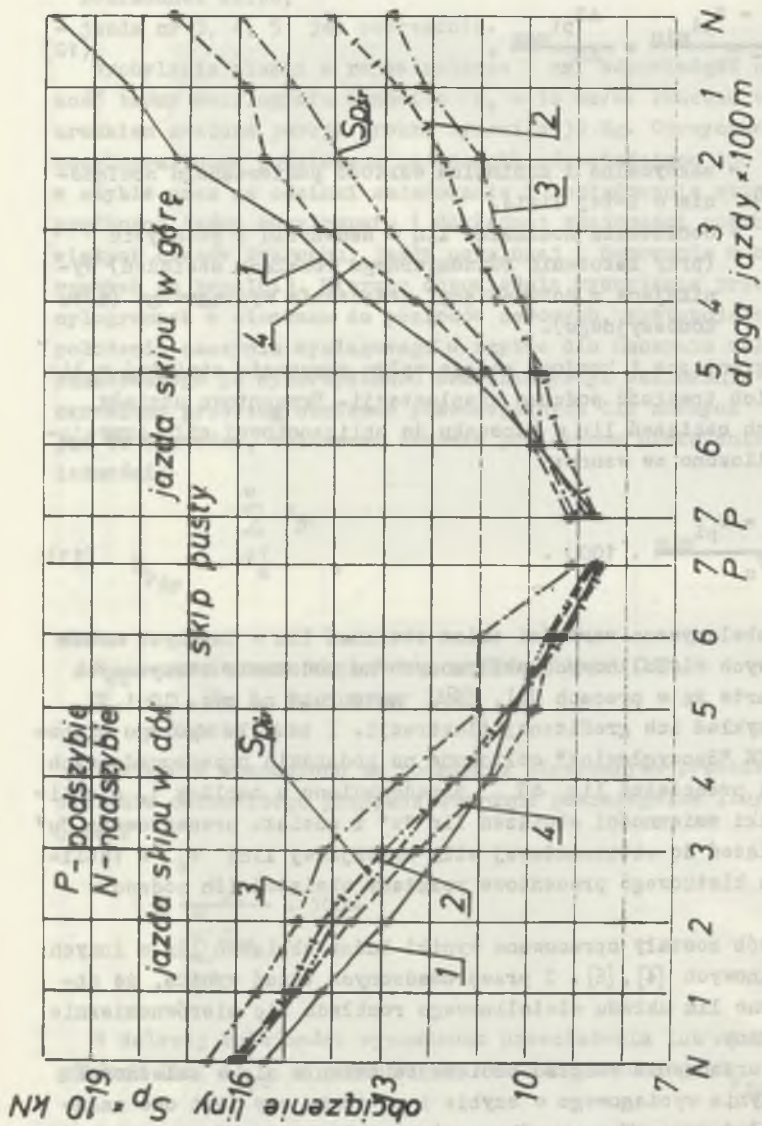
Literatura zagraniczna i krajowa podaje wpływ przyrostu obciążeń w linach nośnych na ich trwałość podczas eksploatacji. Procentowe udziały zmian pomierzonych obciążeń lin w stosunku do obliczeniowej siły zrywającej linę P_o obliczono ze wzoru:

$$u = \frac{S_{pi_{max}} - S_{pi_{min}}}{P_o} \cdot 100\% \quad (13)$$

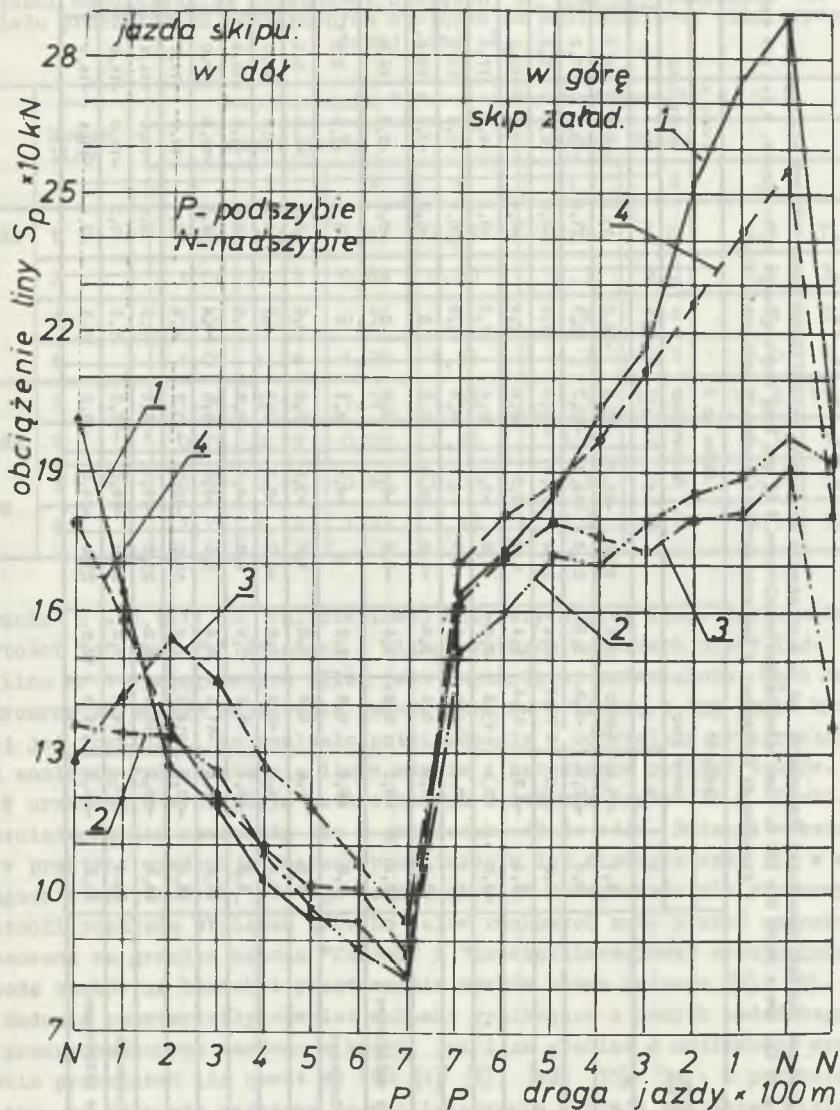
Zestawienia tabelaryczne wartości zmian obciążeń lin w badanych urządzeniach wyciągowych wielolinowych obliczonych na podstawie otrzymanych oscylogramów zawarte są w pracach [4], [6], natomiast na rys. 10 i 11 przedstawiono przykład ich graficznej ilustracji. I tak dla wyciągu skipowego szybu III KWK "Szczygłowice" obliczone na podstawie przeprowadzonych pomiarów wartości przeciążeń lin ΔS_{pi} przedstawiono w tabelicy 1, a obliczone współczynniki zmienności obciążeń lin "z" i udziału procentowego "u" pomierzonych obciążeń do obliczeniowej siły zrywającej linę P_o w tabelicy 2. Dla wyciągu klatkowego procentowe rozkłady obciążeń lin podano w tabelicy 3.

W podobny sposób zostały opracowane wyniki badań obciążeń lin w innych wyciągach wielolinowych [4], [5]. Z przeprowadzonych badań wynika, że obciążenie sumaryczne lin układu wielolinowego rozkłada się nierównomiernie na poszczególne liny.

W cyklu pracy urządzenia rozkład obciążenia zmienia się w zależności od położenia naczynia wyciągowego w szybie i od tego, czy jest ono załadowane lub nie załadowane. W przypadku wyciągu skipowego podczas jazdy naczyniem w dół i w górę przeciążenia lin wahały się w granicach -20 do +24,4% w stosunku do wartości obciążenia średniego. Większe zróżnicowania obciążeń lin wystąpiły w nadszyciu zarówno przy naczyniu załadowanym, jak i pustym. Współczynnik zmienności obciążenia lin $z = 0,36 \pm 1,61$, a współ-



Rys. 10. Rozkład pomierzonych obciążeń lin nośnych w urządzeniu wyciągowym czterolinowym, skopowym szybu III z KWK "Szczygłowice". Skip nie załadowany, jazda w dół i do góry
 Fig. 10. Distribution of the measured lifting rope load in the four-rope lifting device of the skip shaft IIIz in "Szczygłowice" coal mine. Not loaded skip, up and down going



Rys. 11. Rozkład pomierzonych obciążeń lin nośnych w urządzeniu wyciągowym czterolinowym, skipowym szybu IIIz KWK "Szczygłowice". Skip nie załadowany jazda w dół, załadowany jazda w górę

Fig. 11. Distribution of the measured lifting rope load in the four-rope lifting device of the skip shaft IIIz in "Szczygłowice" coal mine. Not loaded skip, going down, loaded skip - going up

Tabela 1

Zestawienie wyników pomiarów wzdłuż linii AS₁ w urządzeniu cyfrowym osterolinowym typu IIL K.K. "Czyściciel"
 Ładunek ekipy $Q_0 = 30 \text{ kg}$, droga jazdy $R = 700 \text{ m}$, liny nosne trójkątowe $\varnothing 50 \text{ mm}$. Brak znaku oznacza przecięcie, a (-) nie docięcie.
 w stosunku do otrzymanej z pomiarów wartości średniego obciążenia liny

Lp.	Ilość i stan mierzni i szypie	Jazda nr 1						Jazda nr 2						Jazda nr 3			
		Numer liny						Numer liny						Numer liny			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	ndczybie	24,4	-15,6	-20,0	11,2	22,0	-16,0	-20,0	-14,0	23,2	-14,8	19,2	10,0				
2	170 □	10,0	-10,0	-5,2	5,2	23,2	-14,8	-19,2	10,8	21,6	-13,2	17,2	8,3				
3	270 □	-5,8	-2,4	11,6	-2,4	24,4	-15,6	-20,0	11,2	-2,4	-7,2	7,2	2,4				
4	370 □	-6,4	-0,8	13,6	5,4	6,8	-6,0	-2,4	2,4	-8,4	-3,6	10,8	1,2				
5	470 □	-8,0	-2,0	13,6	-2,8	8,0	-3,6	10,4	1,2	-9,2	-4,0	17,2	-4,0				
6	570 □	-7,2	-7,2	16,0	-1,6	-12,0	-1,2	14,4	-1,2	-10,4	-4,4	13,2	1,5				
7	670 □	-3,2	-9,6	9,6	3,2	-6,0	-6,0	12,0	0	-8,8	-3,2	15,2	-3,2				
8	700 □ pdczybie, nie załadowane	-5,2	-5,2	8,8	1,6	-6,4	-6,4	12,8	0	-9,6	-3,2	16,0	-3,2				
9	700 □ pdczybie, załadowane	0,8	-6,8	0,8	5,2	0	-4,4	4,4	0	1,2	-7,6	5,2	1,2				
10	600 □	0,2	-6,8	0,8	5,2	1,2	-3,6	6,0	-3,6	0,8	-6,8	5,2	0,8				
11	500 □	2,8	-4,8	-0,8	2,8	-1,2	-5,2	3,2	3,2	2,8	-4,8	-0,8	2,8				
12	400 □	9,2	-9,2	-5,6	5,6	4,8	-6,8	-2,8	4,8	10,4	-6,8	-10,4	6,8				
13	300 □	11,6	-8,4	-11,6	8,4	9,6	-8,0	-8,0	-6,4	11,6	-11,6	-12,0	12,0				
14	200 □	19,6	-12,0	-14,6	7,2	16,8	-10,0	-13,2	6,4	16,4	-12,0	-14,8	10,4				
15	100 □	24,4	-15,2	-18,4	9,2	23,6	-16,4	-16,4	9,2	22,4	-13,6	-16,4	7,6				
16	ndczybie, załadowane	24,4	-15,2	-14,4	9,2	22,0	-14,0	-17,2	9,2	21,2	-12,0	-15,2	6,0				
17	ndczybie, nie załadowane	20,8	-16,8	-16,8	12,8	23,2	-14,8	-19,2	10,8	22,4	-14,4	-14,4	6,4				

Tablica 2

Wartości współczynnika zmienności obciążeń "z" oraz współczynnika "u" udziału procentowego powierzchni obciążeń do obliczeniowej siły zrywającej linę P_0

	Numer liny	współczynnik "z"				współczynnik u, %			
		numer jazdy				numer jazdy			
		1	2	3	4	1	2	3	4
Jazda w dół	1	0,92	1,61	1,44	1,72	3,8	6,8	6,1	7,2
	2	1,02	0,73	0,64	0,80	4,3	3,0	2,7	3,4
	3	1,04	0,80	0,36	0,69	4,4	3,4	1,4	2,1
	4	1,02	1,24	1,20	1,36	4,3	5,2	5,0	5,3
Jazda w górze	1	1,56	1,42	1,36	1,41	6,5	12,0	11,5	11,9
	2	0,76	0,79	0,80	0,85	3,2	6,7	6,7	7,2
	3	0,50	0,66	0,63	0,69	2,2	5,5	5,3	5,8
	4	1,20	1,14	1,12	1,13	5,1	9,6	9,5	9,5

czynnik $u = 2,1 \pm 11,9\%$ obliczeniowej siły zrywającej linę. Takie zmiany wartości "z" oraz "u" świadczą o niekorzystnych warunkach pracy lin.

Lina nr 1 wyciągu szybu IIIz jest najbardziej przeciążona. Może to być przyczyną szybkiego narastania pęknięć drutów w linie, a tym samym krótkiej jej trwałości, co znalazło potwierdzenie w oddzielnie przeprowadzonej analizie wydłużania się lin w szybie i narastania pęknięć drutów.

W urządzeniu wyciągowym czterolinowym klatkowym szybu III w (tabl. 3) przeciążenia lin zawierały się w granicach -49 do $+43\%$. Badania wykazały, że w praktyce występują znaczne przeciążenia lub niedociążenia lin w wyciągach wielolinowych, dlatego konieczne jest przeprowadzanie okresowych kontroli rozkładu obciążeń lin. Do celów ruchowych może służyć szeroko stosowana za granicą metoda "falowa" i "częstotliwościowa" ewentualnie metoda znaków na linach i przetaczania rowków bębna pędnego [3], [8].

Badania potwierdziły również wnioski wynikające z innych badań tego typu przeprowadzonych zarówno w kraju, jak i za granicą o możliwości wystąpienia przeciążeń lin nawet do 60% [1] [3], [10], [11], [14]. Z powyższego wynika, że istnieją podstawy do wyeliminowania w kraju zawiesznień wielolinowych dźwigniowych na rzecz zawiesznień o bezpośrednim punktowym mocowaniu lin do głowic naczyń. Zawiesznienia dźwigniowe tzw. wyrównawcze mają wiele mankamentów i stosowane w górnictwie polskim od początku ich zastosowania w kraju nie uległy one zmianie. Za granicą w krajach o rozwiniętej technice górniczej zawiesznienia, szczególnie dużych naczyń wydobywczych, są przeważnie wielopunktowe. W związku z tym, że do obliczeń wytrzymałości-

Tabela 3

Zestawienie wyników pomiarów rozkładu obciążeń S_{pi} i przeciążeń ΔS_{pi} lin nośnych w urządzeniu wyciągowym esterolinnowym klatkowym szybu III-w K.M. "Szczygłowice"; (-) - niedociążenie, brak znaku - przeciążenie w stosunku do wartości średniej

Położenie i stan naczynia w szybie	Jazda nr 1				Jazda nr 2				Przeciążenie (niedociążenie) liny ΔS_{pi} , %							
	Rozkład obciążeń liny S_{pi} , %				Przeciążenie (niedociążenie) liny ΔS_{pi} , %				Rozkład obciążeń liny S_{pi} , %				Przeciążenie (niedociążenie) liny ΔS_{pi} , %			
	Nr liny				Nr liny				Nr liny				Nr liny			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Nadszybie nie załadowane	30,0	27,0	21,0	22,0	20,0	8,0	-20,0	-3,0	31,0	25,5	20,2	23,2	24,0	2,4	-19,2	-7,2
Podszybie nie załadowane	25,0	27,0	12,6	35,4	0,0	8,0	-49,6	41,6	24,2	25,5	14,8	32,5	-3,2	14	-40,0	30,0
Podszybie załadowane	23,9	25,4	16,9	33,8	-4,4	1,6	-32,4	35,2	22,5	23,3	18,4	35,8	-10	-6,8	-26,4	43,2
Nadszybie załadowane	27,9	26,9	21,2	24,0	11,6	7,6	-15,2	-4,0	29,1	27,2	20,5	23,2	16,4	8,8	-18,0	-7,2

wych konstrukcji dynamometrów założono możliwość występowania siły poprzecznej do 70 kN, która w rzeczywistości nie przekraczała wartości 20 kN, istnieją podstawy dalszego obniżenia masy własnej dynamometrów. Masę tę będzie można jeszcze dalej obniżyć do 3 kg przez zastosowanie na konstrukcję obudowy dynamometru metali lekkich. Kłopoty, jakie występowały podczas montowania kompletów dynamometrów w czasie badań ruchowych, wynikające ze stosowania łączności za pomocą przewodów, przemawiają za koniecznym wprowadzeniem w dalszych badaniach łączności telemetrycznej pomiędzy czujnikami sił a aparaturą rejestrującą.

5. WNIOSKI

1. Przeprowadzone skalowania tulei pomiarowych, jak również kompletów dynamometrów w maszynie wytrzymałościowej dla różnych średnic lin, wykazały liniowość uzyskanych charakterystyk pomiarowych.

2. Z przeprowadzonych badań obciążeń lin nośnych w wyciągach wieloliniowych wynika, że występujące podczas eksploatacji tych urządzeń przeciążenia lub niedociążenia lin znacznie przekraczają wartości dopuszczalne $\pm 10\%$ zalecane przez instrukcję MGIE. W urządzeniu wyciągowym skipowym z przeciwcieżarem przeciążenia lin wynosiły od -20 do $+24,4\%$, a w dwuklatkowym od -49 do $+43\%$ w stosunku do wartości obciążenia średniego.

3. Współczynnik zmienności obciążeń lin w wyciągu wieloliniowym skipowym zawierał się w granicach 0,36 do 1,61.

4. Stosunek wartości pomierzonych obciążeń lin nośnych zmieniających się w cyklu jazdy do obliczeniowej siły zrywającej linę wynosił 2,2 do 12%.

5. Badania wykazały, że w wyciągu skipowym najbardziej przeciążona jest lina nr 1, co może wpłynąć na niższą jej trwałość w porównaniu z pozostałymi linami tego kompletu lin.

6. Przeprowadzone badania potwierdziły również wniosek wynikający z innych badań tego typu, a dotyczący małej skuteczności działania układów wyrównujących dźwigniowych. Z powyższego wynika, że przejście na wielopunktowe zawieszenie lin nośnych nie wpłynie na pogorszenie stanu obciążeń lin, a pozwoli na znaczne uproszczenie konstrukcji zawiesznień, które po uproszczeniu mają następujące zalety: podniesienie bezpieczeństwa zawieszienia, obniżenie jego masy, racjonalniejsze obciążenie głowicy naczynia, eliminacja trzonu głównego zawieszienia i eliminacja zmienności stanów zawieszienia podczas ruchu.

7. Badania wykazały przydatność skonstruowanego kompletu dynamometrów typu IMG Pol. Śl. do pomiarów obciążeń lin nośnych urządzeń wyciągowych. Dalsze ulepszenie konstrukcji tych dynamometrów oraz zastosowanie do prze-

kazywania sygnałów pomiarowych systemów telemetrycznych znacznie usprawnił przebieg pomiarów, szczególnie w zakresie praco- i czasochłonności przebiegu badań.

8. Badania wykazały, że należy obowiązkowo przeprowadzać okresowe kontrole rozkładu obciążeń lin nośnych podczas eksploatacji górniczych urządzeń wyciągowych wielolinowych. Na obecnym etapie, z uwagi na brak w kraju urządzeń pomiarowych przeznaczonych do tego celu, należy stosować proste metody ruchowe kontroli obciążeń lin, do których zaliczyć można metody falową i częstotliwościową.

LITERATURA

- [1] Antoniak J.: Badania teoretyczne i ruchowe rozkładu obciążenia na liny nośne w układach wyciągowych wielolinowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo z. 33, Gliwice 1968.
- [2] Antoniak J.: Techniczne i ruchowe warunki zapewnienia równomiernego rozdziału obciążenia na liny nośne. Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa, 1978 Nr 7.
- [3] Carbogno A.: Analiza metod badań nierównomierności obciążeń lin wyciągowych wielolinowych. Praca NB-87/RG-2/85. Instytut Mechanizacji Górnictwa Pol. Śląskiej. Gliwice 1985.
- [4] Carbogno A., Fober St.: Wykonanie prototypowych dynamometrów do pomiarów obciążeń lin wyciągowych i przeprowadzenie wstępnych badań ruchowych. Praca NB-119/RG-4/RG-2/84. Instytut Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej. Gliwice 1984.
- [5] Carbogno A., Konieczny St., Śmiałek Z., Świerzy A.: Kontrola rozkładu obciążeń lin nośnych górniczych urządzeń wyciągowych wielolinowych. Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa, 1979 Nr 8.
- [6] Carbogno A., Lutyński A., Fober St.: Badanie obciążeń lin nośnych górniczych urządzeń wyciągowych. Praca NB-119/RG-4/RG-2/85. Instytut Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej. Gliwice 1985.
- [7] Carbogno A., Lutyński A., Fober St.: Komplet dynamometrów do pomiaru obciążeń lin nośnych w górniczych urządzeniach wyciągowych wielolinowych. Materiały dla przemysłu związane z tematyką problemu resortowego Nr 119. Wydanie specjalne. Pol. Śląska, Gliwice 1987.
- [8] Instrukcja okresowej kontroli podziału obciążenia na liny nośne wielolinowych urządzeń wyciągowych, MGIE - GIG, Katowice 1976.
- [9] Bar S.: Control of rope forces in multi - rope winding installations. The South African Mechanical Engineer. 1976, February.
- [10] Garkuša N.G., Novikov A.F., Konstantinov M.J.: Riezultaty eksperymentalnych isledowanija raspriedielenija usiliji v kanatach mnogokanatnyh pod'emnyh ustanovok. Voprosy razrabotki šachtnyh stacionarnykh ustanovok. Sb. naučnyh trudov VNIIGM. Donieck 1982.
- [11] Najdenko I.S., Angerias I.J.: Komplet priborov dla isledowanija nagrazok na šachtnye mnogokanatnye pod'emnye ustanovki. Sb. nauč. trudov No 32, IGMiTK, Donieck 1973.
- [12] Najdenko I.S., Bekyj V.D.: Šachtnye mnogokanatnye pod'emnye ustanovki. Izd. Nedra, Moskva 1979.
- [13] Prospekt firmy ASEA. Dynamic measurement and transmission system for mine hoists. Increased safety and improved performance. ASEA Dynamate. Leaflet A07-3001 E, 1984.

- [14] Precek H.: Seilkraftverteilung bei der Vierseil - Fördermaschine. Freiburger Forschungshefte, 1983, A, No 685.
- [15] Šebela Z.: Tensometricka mereni dynamiky vicelanovych těžnich soustav. Uhli 1981, Nr 10.
- [16] Zelenka M., Šebela Z.: Tahy v lanach vicelanoveho těžního stroje. Uhli 1984, Nr 1.

Recenzent: Doc. dr inż. Tadeusz ZMYŚLÓWSKI

Wpłynęło do Redakcji w styczniu 1987 r.

ИЗМЕРЕНИЕ НАГРУЗКИ НЕСУЩИХ КАНАТОВ В ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ПОДЪЕМНЫХ МНОГОКАНАТНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Р е з ю м е

Во время эксплуатации горнопромышленных многоканатных подъемных устройств очень важным является как можно более равномерное распределение нагрузки в отдельных несущих канатах. Для реализации этой цели необходим контроль нагрузки на канат. В настоящее время в мире контроль над нагрузками канатов проводится различными методами, например, при помощи динамометров постоянно смонтированных в элементы стволов (статиметры, кольцевые динамометры ГЛХ, гидравлические мембраны), временно смонтированных в подвесках тензометрических динамометров (тензометрические вкладыши в регулировочных соединителях) динамометров смонтированных на канатах на время измерений и с помощью волнового метода и метода частот. В Польше до настоящего времени применяются исключительно волновой метод и метод частот, а также производятся испытания с различными тензометрическими динамометрами (Силезский политехнический институт и АГХ в Кракове). Имея в виду нехватку простых устройств для измерения нагрузок в канатах, многоканатных подъемников, которые были бы просты в обслуживании, достаточно точны и обеспечивали бы короткое время исследований, в Институте механизации горной промышленности Силезского политехнического института разработан комплект накладных динамометров, которые при применении типовой измеритель-регистрирующей аппаратуры позволили бы на исследование нагрузок канатов во время их эксплуатации. Измерение силы в канате проводится методом поперечного отгибания каната между двумя подпорками.

Поперечная сила распрямления каната измеряется при помощи измерительной тензометрической втулки, работающей на сжатие. Проведено градуирование как измерительных втулок, так и комплектов динамометров. Получены линейные характеристики градуировок. Пригодность прототипного комплекта динамометров исследована с помощью проведения исследований нагрузок канатов в нескольких многоканатных подъемниках.

MEASUREMENTS OF LIFTING ROPE LOAD IN MULTIROPE MINING SHAFTS

Summary

Even load distribution on particular lifting ropes is very important during exploitation of multirope mining shafts.

To reach that aim rope load control is necessary. At present the world methods of controlling rope load are different, e.g. by means of dynamometer built in into the elements of suspension vessels (statymeters, proving rings GHH, hydraulic diaphragm), periodically built in into extensometric dynamometer lifting sling (extensometric insert in regulating connectors), dynamometers put on ropes for the time of measurements and by means of waving and frequency method.

In our country the latter ones used tests with different extensometric dynamometers are carried out (Tech. Univ. of Silesia and Mining Academy in Cracow).

Because of the lack of simple devices for rope load measurements in multi-rope shafts that are easy to be served, are exact enough and ensure a short time of investigations, the set of dynamometers put on the ropes has been worked out at the Institute of Mining Mechanization at the Technical University of Silesia.

It enables investigations of rope load during exploitation using typical measurement apparatus.

Power measurement in the rope is made by the method of rope lateral deflection between two supports.

Lateral rope deflecting power is measured by means of extensometric measuring sleeve working for compression.

Measuring sleeve and set of dynamometers scaling was carried out. Line characteristics of scaling were obtained.

Usefulness of the prototype set of dynamometers was verified by rope load investigations in several multirope lifting devices.