



## INNOVATIVE HOIST ROPES – A CHANCE FOR THE MODERNIZATION OF HOISTING DEVICES

*Jan Hankus, Łukasz Hankus*<sup>1</sup>

**Key words:** rope, hoist rope, modernization, hoisting devices

### **Abstract:**

One of the most important current issues related to the process of restructurization of Poland's coal mining industry is the modernization of hoisting devices, in particular, the aspect of preparing them for the ever-increasing depth of excavation. The average depth of mining activities is growing each year by 5 to 8 meters. The optimal arrangement is for the depth of excavation activities to be always above the lowest point of the mine shaft. However, the lack of financial resources available for mining over the past dozen or more years has forced the majority of mines to undertake below-level exploitation – which is performing excavation activities below the depth of general accessibility. This is an undesirable method of exploitation due to the hazards associated with fire and methane. The lessening of this problem can be accomplished by the building of new mine shafts (an expensive option) or the deepening of existing mine shafts and modernization of hoisting device mechanisms. In the planning of modernization of an existing mine shaft hoisting device for the purpose of increasing the depth of activities, several potential options should be considered. This research study introduces the proposal of the simplest approach via the implementation of „innovative hoist ropes”. The rope will be characterized by unchanged (thusfar) diameter, increased breaking force, fulfilling the required safety parameters and stretch properties lengthwise and radial deformities acclimated to the increased depth of the shaft.

### **1. Eksploatacja podziemowa**

Ważnym aktualnie zagadnieniem związanym z procesem restrukturyzacji polskiego przemysłu węglowego jest modernizacja wyciągów szybowych w aspekcie dostosowania ich do rosnącej głębokości poziomu wydobywczego. Średnia głębokość prowadzonych robót górniczych wzrasta każdego roku od 5 do 8m [3], [4], [7]. Optymalnym rozwiązaniem jest aby poziom wydobywczy w kopalniach był zawsze powyżej najniższego punktu szybu. Jednakże brak środków finansowych na roboty udostępniające w ostatnich kilkunastu latach, wymusił w większości kopalń eksploatację podziemową to jest prowadzenie robót eksploatacyjnych poniżej poziomu udostępnienia [7]. W 2008r. na 33 kopalnie węgla kamiennego 27 prowadziło wybieranie poniżej poziomu udostępnienia, a z podziemów pozyskiwane było 55 % całkowitego wydobycia [7]. Jest to niekorzystny sposób eksploatacji z uwagi na zagrożenie pożarowe oraz metanowe. Złagodzeniem problemu może być budowa nowych szybów (wariant bardzo kosztowny) lub pogłębianie istniejących i modernizacja urządzeń wyciągowych. Planując modernizację istniejącego wyciągu szybowego w aspekcie zwiększenia głębokości ciągnięcia, rozpatrzyć musimy różne warianty rozwiązań. Proponuje się jako pierwszy wybrać wariant najprostsz przez zastosowanie tzw. „ innowacyjnej liny wyciągowej nośnej”, która będzie się charakteryzować:

- niezmienną (dotychczasową) średnicą,
- zwiększoną siłą zrywającą do wartości spełniającej wymagane współczynniki bezpieczeństwa,
- własnościami sprężystymi ( odkształcenia wzdłużno – skrętne) wymaganymi dla zwiększonej głębokości szybu.

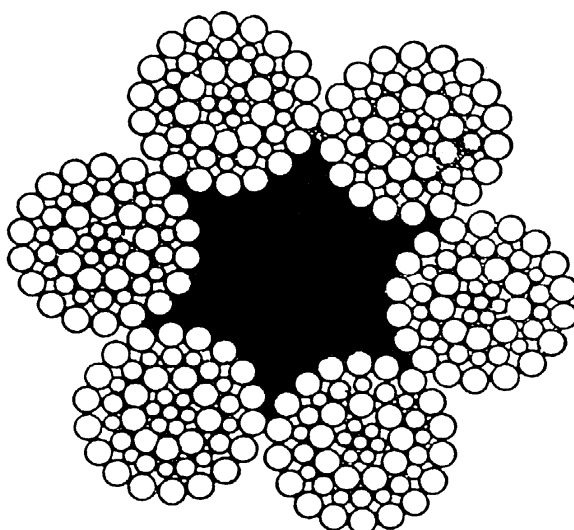
<sup>1</sup> **Prof.dr hab.inż. Jan Hankus ,mgr inż. Łukasz Hankus**, Główny Instytut Górnictwa, Plac Gwarków 1, 40-166 Katowice tel.: +4832 259 23 24 , Fax : +4832 259 65 33),e-mail: [lhankus@gig.katowice.pl](mailto:lhankus@gig.katowice.pl); [blxjh@gig.katowice.pl](mailto:blxjh@gig.katowice.pl)

## 2. Parametry innowacyjnej liny wyciągowej

Istniejący wyciąg szybowy o głębokości 800m planujemy przedłużyć do głębokości ciągnięcia  $H = 1100\text{m}$ . Dotychczas stosowana była lina wyciągowa nośna o średnicy 52 mm i nominalnej wytrzymałości drutów  $R_m = 1570\text{ MPa}$ . Przyjmujemy wariant najprostszy polegający na pozostawieniu dotychczasowej średnicy i konstrukcji liny. Zmiana polegać będzie na zwiększeniu wytrzymałości materiału drutów  $R_m$  i zastosowaniu zamiast liny współzwitej linę przeciwwitą. W modernizowanym wyciągu zastosowana będzie lina wyrównawcza płaska stalowo – gumowa [6]. W wyniku obliczeń symulacyjnych według metodyki podanej w [2], przyjęto wstępnie podwyższenie wytrzymałości drutów do wartości  $R_m = 1770\text{ MPa}$ . W Tab.1 zestawiono dane konstrukcyjne i wytrzymałościowe przyjętego wariantu lin. Na Rys. 1 przedstawiono przekrój poprzeczny liny wyciągowej nośnej.

**Tab. 1.** Dane konstrukcyjne i wytrzymałościowe lin wyciągowych nośnych i liny wyrównawczej

Nr liny	Konstrukcja liny	Średnica liny D, [mm]	Przekrój nośny F, [mm <sup>2</sup> ]	Wytrzymałość drutów $R_m$ , [MPa]	Nominalna siła zrywająca linę $P_n$ , [kN]	$\eta_{on}$	masa liny [kg/m]
Liny wyciągowe nośne							
1	WS 6x52-FC współzwita prawa z/Z	52	1059,0	1570	1662,6	0,86	9,85
2	WS 6x52-FC przeciwwzita praw s/Z	52	1059,0	1770	1874,43	0,86	9,85
Lina wyrównawcza płaska							
1	Stalowo-gumowa W6x22+ At(W1x22)	118x31	765,55	1370	1048,80	0,87	10,0



**Rys. 1** Przekrój poprzeczny liny wyciągowej nośnej WS 6x52 – FC

## 3. Weryfikacja przyjętych założeń

### 3.1. Współczynnik bezpieczeństwa lin wyciągowych nośnych

Zgodnie z Przepisami bezpieczeństwa i higieny pracy [5] w górnictwie polskim współczynniki bezpieczeństwa maleją dla głębokości ciągnięcia od 400 do 1200 m. Na przykład w wyciągach jednolinowych przy wydobywaniu mamy zależność:

$$n = 6,5 - 0,001(H_i - 400) \quad (1)$$

gdzie  $H_i$  oznacza długość liny od osi kół linowych do naczynia w najniższym położeniu. Dla analizowanych głębokości ciągnięcia  $H = 800$  i  $1100\text{ m}$  otrzymujemy

$$n_{800} = 6,01 \quad , \quad n_{1100} = 5,789.$$

W Tab. 2 zestawiono maksymalne statyczne obciążenia lin i wyniki obliczeń dla istniejącego i zmodernizowanego wyciągu szybowego.

**Tab. 2** Maksymalne statyczne obciążenia lin istniejącego i zmodernizowanego wyciągu szybowego

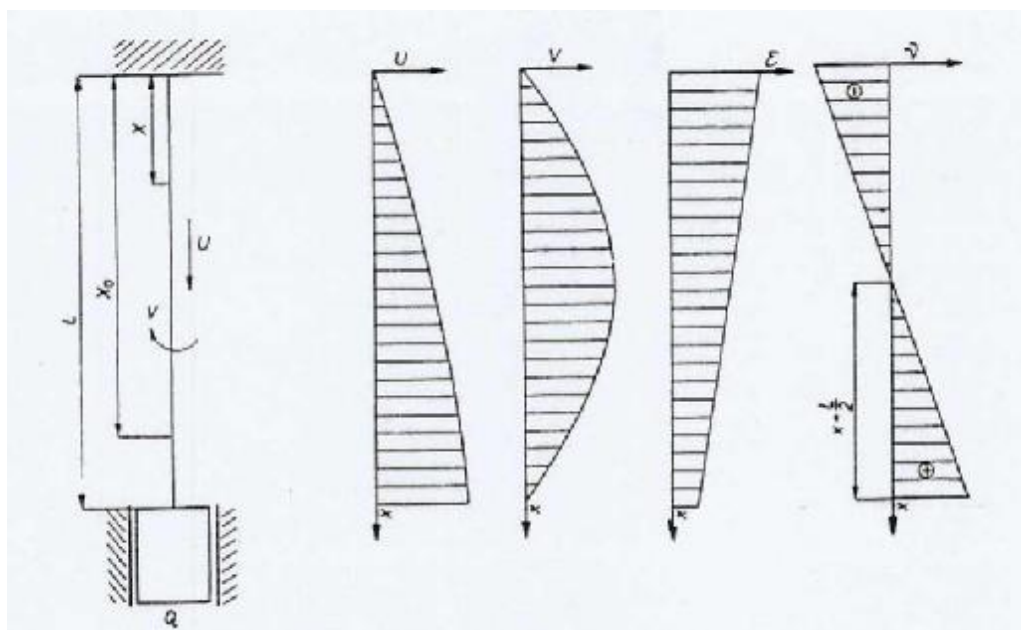
Wyszczególnienie	Przy ciągnięciu urobku [kN]	
	Stan początkowy	Stan po modernizacji
1. Ciężar odcinka liny nośnej od osi kół linowych do poziomu wyładowczego na nadszyciu 11 m po 0,0966 [kN]	1,0629	1,0629
2. Ciężar zawiesi lin nośnych, [kN]	8,14	8,14
3. Ciężar skipu, [kN]	100,71	100,71
4. Ciężar prowadnic tocznych, [kN]	7,24	7,14
5. Ciężar użyteczny urobku, [kN]	137,34	137,34
6. Ciężar zawiesia liny wyrównawczej, [kN]	5,89	5,89
7. Ciężar liny wyrównawczej od poziomu wyładowczego na nadszyciu do miejsca nawrotu lin w rzapiu, [kN]	81,129	110,559
8. Razem, [kN]	341,673	370,842
9. Głębokość ciągnięcia H, m	800	1100
10. Współczynnik bezpieczeństwa liny	6,57 > 6,01	6,824 > 5,789

Widzimy, że przyjęte parametry innowacyjnej liny wyciągowej nośnej spełniają wymagania odnośnie współczynnika bezpieczeństwa.

### 3.2 Wzdłużne i skrętne odkształcenia lin wyciągowych

W czasie ruchu naczynia w dół opadająca gałąź liny kręci się wywołując rozkręcanie na odcinku do połowy głębokości szybu i dokręcanie w drugiej połowie głębokości. Z tego powodu w określonych warunkach obciążeń oraz przy określonych własnościach sprężystych lin, może wystąpić zjawisko skracania się lin.

Z wykresu Rys. 2 wynika, że wzdłużne przemieszczenia liny  $u$  oraz skrętne przemieszczenia  $v$  (obroty liny) zmieniają się według krzywych stopnia drugiego, natomiast odkształcenia względne  $\varepsilon$  i  $\varphi$  liniowo.



**Rys. 2** Wykres wzdłużnych  $u$  i skrętnych  $v$  przemieszczeń oraz odkształceń  $\varepsilon$ ,  $\varphi$  liny nośnej w urządzeniu wyciągowym

W normalnych warunkach największe wzdłużne przemieszczenie liny wystąpi w dolnym przekroju liny dla  $x = L$ . Natomiast największe względne wydłużenie liny wystąpi w górnym przekroju liny dla  $x = 0$  (Rys. 2).

W normalnych warunkach mamy więc:  $u(L) = u_{\max}$ ,  $\varepsilon(L) > 0$ .

gdzie:

A, B, C - uogólnione współczynniki sztywności liny określające:

A - sztywność liny przy czystym rozciąganiu,

B - sztywność liny przy czystym skręcaniu,

C - współczynnik wpływu, równy momentowi skręcającemu w linie przy jednostkowym jej wydłużeniu i braku skręcania  $v=0$ .

### 3.3. Kryterium skracania się lin

W specyficznych warunkach wzdłużne odkształcenie liny w dolnym jej końcu osiągnąć może wartości ujemne lub równe zero. Współrzędną  $x_0$  (Rys. 3), w której odkształcenie wzdłużne liny nie wystąpi ( $\varepsilon=0$ ) określamy z zależności:

$$x_0 = \frac{L}{2} + \left( \frac{L}{2} + \frac{Q}{q} \right) \left( 1 - \frac{C^2}{AB} \right) \quad (2)$$

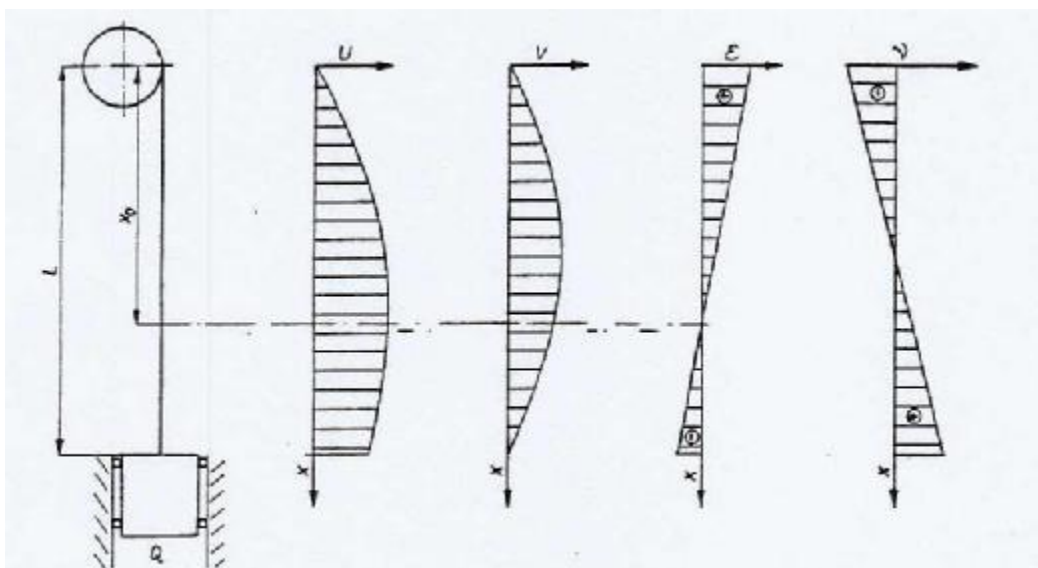
Przy określonej wielkości obciążenia  $Q$  i pewnych wartościach współczynników  $A$ ,  $B$ ,  $C$  współrzędna punktu  $x_0$  może znaleźć się w obrębie długości liny tj.  $x_0 \leq L$ .

Mamy wówczas:

$$u(L) \neq u_{\max}, \quad \varepsilon(L) < 0.$$

$$u(x_0) = u_{\max}, \quad \varepsilon(x_0) = 0.$$

Przypadek ten obrazuje Rys. 3.



**Rys. 3** Wykres wzdłużnych  $u$  i skrętnych  $v$  przemieszczeń oraz odkształceń  $\varepsilon$ ,  $v$  liny ulegającej skracaniu

Oznacza to, że poniżej punktu  $x_0$ , lina doznaje względnego skrócenia. Tłumaczy się to tym, że na wydłużenie liny pochodzące od ciężar  $Q$  w dolnej połowie głębokości szybu, nakłada się ujemne względne wydłużenie, wywołane dokręcaniem się liny.

Zgodnie z teorią Głuszki [1], [2] zjawisko to występuje gdy:

$$\frac{Q}{qL} \leq \frac{2C^2}{A \cdot B - C^2} \quad (3)$$

W kryterium skracania się lin Głuszko zakładał, że uogólnione współczynniki sztywności  $A$ ,  $B$ ,  $C$  dla danej konstrukcji liny mają wartości stałe, niezależnie od wartości obciążenia. Własne badania doświadczalne, wykazały, że wartości tych współczynników zmieniają się ze wzrostem siły w linie i, że

do opisu ich zależności od siły w linie P dobre przybliżenie daje model potęgowy. Otrzymano więc zależności

$$\begin{aligned} A(P) &= a_0 \cdot P^a \\ B(P) &= b_0 \cdot P^b \\ C(P) &= c_0 \cdot P^c \end{aligned} \quad (4)$$

Dla ułatwienia obliczeń, oznaczamy przez  $F_1$  i  $F_2$  lewą i prawą stronę zależności (2) otrzymując:

$$F_1 = \frac{Q}{q \cdot L} \quad (5)$$

$$F_{2(P)} = \frac{2}{D \cdot P^m - 1} \quad (6)$$

$$\text{gdzie: } D = \frac{a_0 \cdot b_0}{c_0^2} \quad (7)$$

$$m = (a + b - 2c) \quad (8)$$

W oparciu o przedstawioną metodykę i wyniki badań doświadczalnych [1], [2] przeprowadzono ocenę przyjętych konstrukcji lin wyciągowych w aspekcie zastosowania ich w szybie o głębokości 1100 m. W Tab. 3 zestawiono wyniki obliczeń.

**Tab. 3 Wyniki obliczeń kryterium skracania się lin**

Parametr	Lina współzwita	Lina przeciwzwita
D	1.037	1.221
m	0,0038	0.14
$F_1$	$2,352 < F_2$	$2,352 > F_2$
$F_2$	33.609	1,115
$x_0$	$664 < 1100$	$1150 > 1100$

Z danych tablicy wynika, że w przypadku lin współzwitych istnieje duże prawdopodobieństwo wystąpienia zjawiska samoistnego skracania się. Mamy bowiem  $F_1 < F_2$  i  $x_0 < L$ . Natomiast stosując linę przeciwzwitą (o mniejszej odkrętności), eliminujemy zagrożenie skracania się liny ponieważ  $F_1 > F_2$ , a  $x_0 > L$ .

### 5. Wnioski i uwag końcowe

1. Ważnym aktualnie zagadnieniem związanym z procesem restrukturyzacji polskiego przemysłu węglowego jest modernizacja wyciągów szybowych w aspekcie dostosowania ich do rosnącej głębokości poziomu wydobywczego.
2. Planując modernizację istniejącego wyciągu szybowego w aspekcie zwiększenia głębokości ciągnięcia, rozpatrzeć musimy różne warianty rozwiązań. Najprostszym wariantem jest zastosowanie tzw. "innowacyjnej liny wyciągowej nośnej". Lina będzie się charakteryzować niezmienną (dotychczasową) średnicą, zwiększoną siłą zrywającą i własnościami sprężystymi (odkształcenia wzdłużno – skrętne) dostosowanymi dla zwiększonej głębokości szybu.
3. Jak wykazała przykładowa analiza, gdy w istniejącym wyciągu szybowym lina wyciągowa nośna wykonana była z drutów o niskiej wytrzymałości 1570 MPa, to zwiększając głębokość ciągnięcia o 300 m, innowacyjna lina nośna może mieć druty o wytrzymałości 1770 MPa. Przy głębokości ciągnięcia do 1100 m, linę należy wykonać jako przeciwzwitą i zjawisko skracania nie wystąpi.

### Literatura:

- [1] Hankus J.: Budowa i własności mechaniczne lin stalowych. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2000.

- [2] Hankus J., Hankus Ł. : Zagadnienie konstrukcji i wytrzymałości lin wyciągowych o dużej długości. „III Międzynarodowa Konferencja „Bezpieczeństwo Pracy Urzędzeń Transportu w Górnictwie”. Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego Sp.zo.o. Ustroń 2006.
- [3] Hansel J.: Kierunki modernizacji systemów maszynowych transportu pionowego.(SMTP). Międzynarodowa Konferencja” Wyciągi szybowe u progu XXI w”. Wyd. CMG – Komag. 1999.
- [4] Malara J.: Restrukturyzacja czy likwidacja polskiego przemysłu węglowego. Czasopismo Techniczne Nr 140 .Kraków 2009.
- [5] Przepisy bezpieczeństwa i higieny pracy dla podziemnych zakładów pracy Załączniki. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002r.- znowelizowane w 2006r. Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Górnictwa Katowice 2006.
- [6] Poturalski W. : Katalog Płaskich Lin Stalowo – Gumowych Typu ZEP. STL – TRADE Katowice
- [7] Zmysłowski T. Górnictwe maszyny wyciągowe. Część mechaniczna. „Śląsk”Sp.z o.o. Wydawnictwo Naukowe. Katowice – Warszawa 2004.
- [8] Zorychta A.,Burtan Z.: Uwarunkowania i kierunki rozwoju technologii podziemnej eksploatacji złóż w polskim górnictwie węgla kamiennego. Gospodarka Surowcami Mineralnymi . Tom24 ,Zeszyt 2008.

**Recenzia/Review:** *prof. Ing. Ján Boroška, CSc.*