

Wytrzymałościowa ocena stopnia zużycia lin stalowych mechanizmów zwodzenia organów urabiających koparek kołowych w świetle kryteriów odkładania

Dominik Jambor, Andrzej Tytko


Wprowadzenie

Liny stalowe są powszechnie wykorzystywane w przemyśle wydobywczym pierwotnych nośników energii. Znajdują różnorodne zastosowania w urządzeniach wyciągowych kopalń węgla kamiennego i w maszynach podstawowych pracujących w kopalniach węgla brunatnego. W górniczych wyciągach szybowych pełnią rolę ciągów nośnych i wyrównawczych oraz są stosowane w systemach podatnego prowadzenia naczyń wyciągowych. W kopalniach odkrywkowych w koparkach wielonaczyniowych stosowane są jako liny wantowe, które są sprężystym zawieszeniem organu urabiającego, oraz jako liny mechanizmów zwodzenia organów urabiających. W poszukiwaniach złóż ropy naftowej i gazu ziemnego liny stalowe stosowane są w układach wielokrążkowych wiertnic.

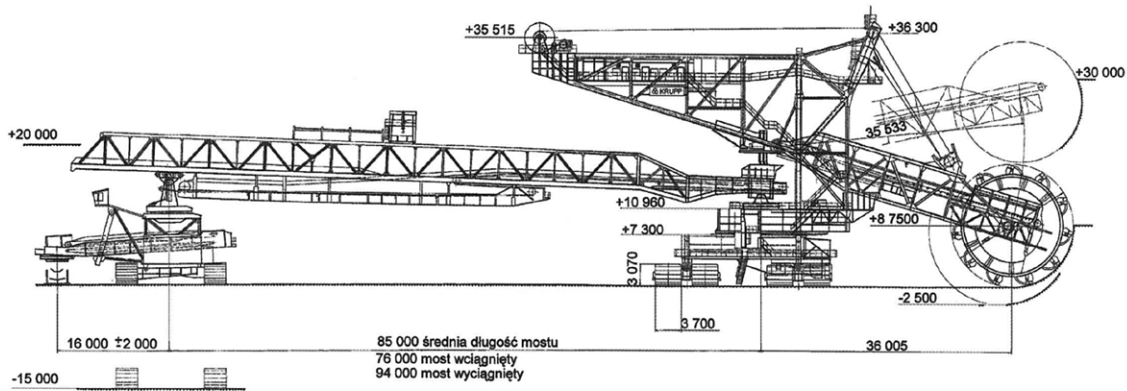
Istotną rolę w polskiej elektroenergetyce odgrywa węgiel brunatny. Corocznie wydobywa się go 60 mln ton [1] i pozyskuje się z niego około 30% najtańszej w produkcji energii elektrycznej w Polsce [2]. Obecnie w kraju eksploatowanych jest 5 KWB: „Adamów”, „Bełchatów”, „Konin”, „Turów” i „Sieniawa”. W ciągu kilkudziesięciu lat część odkrywek zostanie wyeksploatowana, jednakże w ich miejsce otworzone mogą zostać nowe kopalnie położone w rejonie Legnicy, Gubina i Złoczewa [1]. Z tych powodów zagadnienia związane z bezpieczną i racjonalną eksploatacją maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego będą nadal aktualne. Wiedza na temat eksploatacji lin stalowych, stosowanych w wielokrążkowych systemach olinowania koparek wielonaczyniowych, jest fragmentaryczna i w niepełnym zakresie sformalizowana.

Niniejsza publikacja omawia problematykę odkładania lin stalowych pracujących w układach wielokrążkowych wciągarek głównych wielonaczyniowych maszyn górnictwa odkrywkowego. W artykule przedstawiono wyniki badań wytrzymałościowych lin stalowych. Liny te pochodziły z obiektu rzeczywistego – koparki kołowej typu SchRs 4600.30 wchodzącej w skład parku maszynowego KWB „Bełchatów”. Celem przeprowadzonych badań wytrzymałościowych było określenie, czy rzeczywiste osłabienie lin w momencie wyłączenia ich z eksploatacji faktycznie dyskwalifikowało je zgodnie z kryteriami odkładania zawartymi w normie PN-M-80284:1997 *Górnictwo odkrywkowe. Dopuszczalne zużycie lin stalowych* [3]. Jest to istotna kwestia ze względu na to, że praktycznie główną przyczyną odkładania lin wciągarek głównych jest zmniejszenie wymiaru ich średnicy w stosunku do wymiaru nominalnego.

Streszczenie: W artykule przedstawiono problematykę związaną z odkładaniem lin stalowych stosowanych w układach wciągarek głównych koparek wielonaczyniowych górnictwa odkrywkowego. Autorzy przedstawiają wyniki badań wytrzymałościowych odcinków tych lin, pobranych z różnych miejsc systemu olinowania koparki typu SchRs 4600.30. Odcinki do badań z tych miejsc pobrano, uwzględniając stopień ich zużycia, określony na podstawie oględzin wizualnych oraz częstości przeginania ciągów na krążkach. Zużycie poszczególnych fragmentów lin, rozumiane jako spadek zmierzonej sumarycznej siły zrywającej i spadek liczby jednokierunkowych skręceń drutów, odnoszono do odcinka referencyjnego.

 **Abstract:** The article presents the problems connected with removing wire ropes from main hoists' bucket-wheel excavators of open pit machines. The authors present the results of strength tests of rope segments, gathered from different parts of SchRs 4600.30 excavator rigging system. Segments for tests were gathered taking into consideration their wear level, determined on the basis of visual inspection and the frequency of bending the rope on a pulley. The wear of particular rope fragments is understood as the decrease in the measured total breaking force and the decrease in the number of single wire torsion, were related to the reference segment.

Zmiana tego parametru zachodzi często bez widocznych symptomów wskazujących na zużycie zmęczeniowe, objawiające się zmęczeniowymi złomami drutów. W przypadku mechanizmów linowych o takim stopniu złożoności i wielkości, jak maszyny podstawowe górnictwa odkrywkowego, metoda badań magnetycznych bazująca na skokowej zmianie przekroju metalicznego jest mało praktyczna do oceny stanu technicznego tak zużytych lin. Rodzi się więc pytanie, czy w świetle wyników badań wytrzymałościowych odłożonych lin obowiązujące podstawowe kryterium odkładania, dotyczące zmniejszenia wymiaru średnicy, zawarte w normie PN-M-80284, jest zasadne i czy można wydłużyć „dopuszczalny czas pracy lin” na tych obiektach.



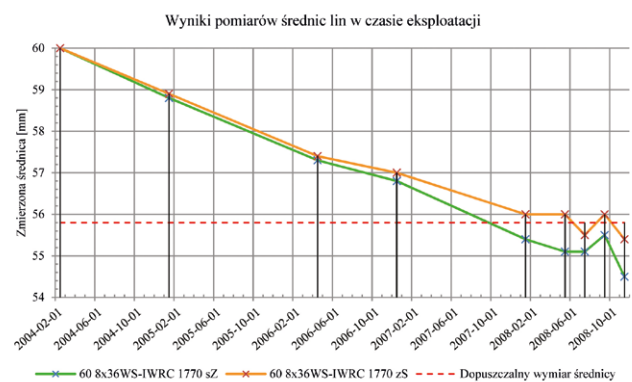
Rys. 1. Schemat koparki SchRs 4600.30 [5]

2. Obiekt badań

Obiektem badań były liny stalowe konstrukcji: 60 8x36WS-IWRC 1770 sZ i 60 8x36WS-IWRC 1770 zS (oznaczenia wg normy PN-EN 12385-1+A1:2009 [3]) pochodzące z systemu olinowania wielokrążkowego mechanizmu podnoszenia organu urabiającego koparki SchRs 4600.30 (rys. 1). Jest to koparka wielonaczyniowa kołowa na podwoziu gąsienicowym o wydajności teoretycznej 9350 m³/h. Jej schemat widoczny jest na rys. 1. Liny pracujące w koparce SchRs 4600.30 odłożono zgodnie z zaleceniami normy PN-M-80284:1997 z powodu spadku wymiaru średnicy liny względem wymiaru nominalnego ponad 7%. Przebieg trendu zmiany wymiaru średnicy badanych lin w trakcie eksploatacji, sporządzony na podstawie pomiarów wykonanych w KWB „Bełchatów”, przedstawia wykres 1.

We wciągarkach głównych koparki pracowały liny ośmiopłotkowe z rdzeniem metalicznym w postaci niezależnej liny stalowej. Konstrukcja spletek zapewnia liniowy styk drutów, która zapobiega ich wtórnemu przeginianiu i jest typowa dla lin przeznaczonych do eksploatacji w układach wielokrążkowych, w tym koparek kołowych. Przekrój poprzeczny badanej liny prezentuje rys. 2.

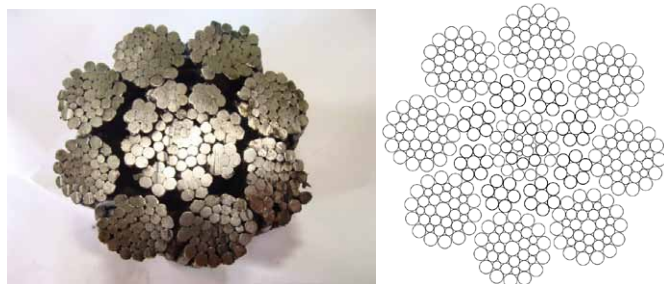
W koparkach kołowych stosuje się podwójne olinowanie. Lina „lewa”, pracująca w jednej z wciągarek głównych, z jednej strony mocowana jest do bębna mechanizmu podnoszenia. Z bębna lina nabiega na wielokrążki: stały i ruchomy, znajdujące się po tej samej stronie wysięgu co napęd wciągarki, a następnie



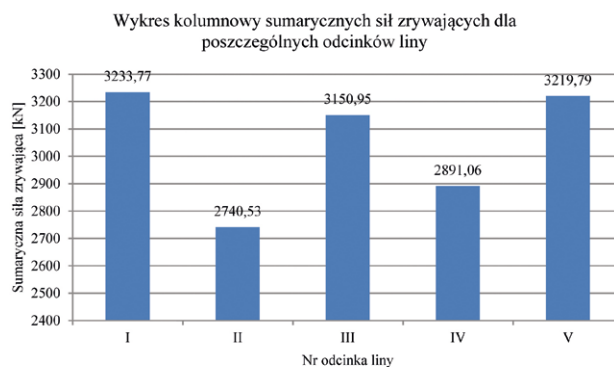
Wykres 1. Wyniki pomiarów średnic lin 60 8x36WS-IWRC 1770 sZ i 60 8x36WS-IWRC 1770 zS w trakcie eksploatacji (pomiaru wykonywane zostały przez obsługę techniczną)

biegnie na wielokrążki po przeciwnej stronie wysięgnika. Koniec liny mocowany jest w tulei stożkowej. Analogicznie wygląda olinowanie liny „prawy”. Taki rodzaj olinowania zapobiega nierównomiernemu wydłużaniu się lin. Prędkość liniowa liny nie jest stała na całej jej długości, zmienia się od prędkości obwodowej bębna wciągarki do zera w miejscu jej kotwienia.

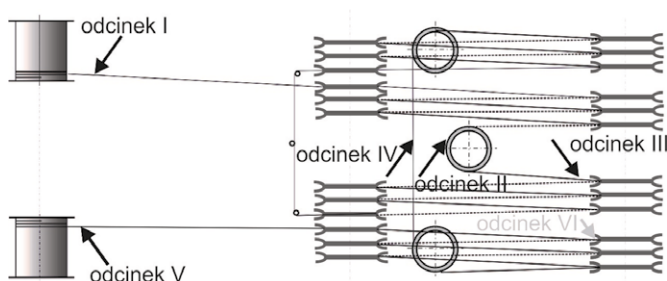
Na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat wykonano badania wytrzymałościowe kilku lin odłożonych z układów olinowania



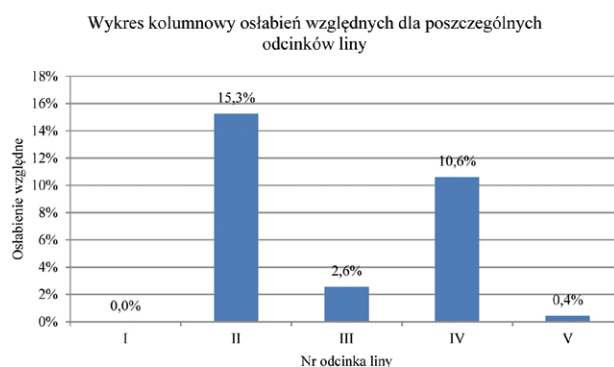
Rys. 2. Zdjęcie przekroju poprzecznego badanej liny (60 8x36WS-IWRC) zdemontowanej z wciągarki mechanizmu podnoszenia koparki SchRs 4600.30 (po lewej) oraz schemat jej budowy (po prawej)



Wykres 2. Wykres kolumnowy sumarycznych sił zrywających dla poszczególnych odcinków liny



Rys. 3. Schemat olinowania koparki SchRs4600.30 i miejsca pobrania do badań odcinków liny 60 8x36WS-IWRC 1770



Wykres 3. Wykres kolumnowy osłabień względnych dla poszczególnych odcinków liny

wielokrążkowego maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego, o średnicach 42, 68, 70 i 72 mm. Wyniki badań są podobne i prowadzą do wniosków, jakie sformułowano poniżej. W niniejszym artykule dla przejrzystości przedstawiono jedynie wyniki badań liny 60 8x36WS-IWRC 1770.

Do badań wytrzymałościowych lin 60 8x36WS-IWRC 1770 wybrano po 3 odcinki każdej z dwóch lin systemu olinowania. Schemat systemu olinowania z zaznaczonymi miejscami pobrania próbek do badań widnieje na rys. 3. Wyselekcjonowano je pod kątem zróżnicowanego zużycia oraz różnej częstości przeginania na krążkach, tak by pozyskać odcinki o największym, średnim i minimalnym zużyciu na podstawie oględzin wizualnych i pomiaru średnicy. Ostatecznie z pobranych odcinków odrzucono oznaczony numerem VI, a do badań przeznaczono pozostałe fragmenty lin.

3. Metoda badań

W celu określenia stopnia zużycia odłożonych lin stalowych wykonano badania drutów z pobranych odcinków. Badania obejmowały:

- statyczną próbę rozciągania drutów (przeprowadzoną zgodnie z PN-H-04316:1984. *Próba statycznego rozciągania drutów* [6]) w celu określenia sił zrywających pojedyncze druty, obliczenia sumarycznych sił zrywających poszczególne odcinki oraz finalne obliczenie ich osłabienia;

- próbę jednokierunkowego skręcania drutów (przeprowadzoną zgodnie z PN-ISO 7800:1996. *Metale. Drut. Próba jednokierunkowego skręcania* [7]) w celu określenia ich odporności na deformację plastyczną oraz stopnia zużycia zmęczeniowego;
- pomiar średnicy drutów w celu określenia stopnia zużycia ściernego i korozyjnego;
- wizualna ocena przełomów i powierzchni (korozja, starcia, lokalne odkształcenia plastyczne, stan ocynku) drutów.

Uzyskano 3 parametry dla wszystkich drutów z badanych odcinków. Są to: siła zrywająca, liczba skręceń jednokierunkowych i wymiar średnicy. Stabelaryzowano je w taki sposób, aby możliwa była ocena stopnia zużycia zarówno poszczególnych fragmentów liny, jak i drutów o tych samych średnicach i położeniu w linie.

4. Wyniki badań

Na podstawie badań wytrzymałościowych drutów obliczono sumaryczne siły zrywające, czyli sumy sił zrywających wszystkie druty w jednym przekroju liny. Wyliczenie to wykonano dla wszystkich odcinków lin. Wyniki te prezentuje wykres 2. Osłabienie względne obliczono wg formuły 1, względem najmniej osłabionego odcinka referencyjnego (odcinek I). Został on pobrany z fragmentu liny zwykle zalegającego na bębnie.

$$\text{Osłabienie względne} = \frac{F_{Sum} - F_{SumRef}}{F_{SumRef}} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

F_{Sum} – sumaryczna siła zrywająca dany odcinek liny [kN];

F_{SumRef} – sumaryczna siła zrywająca odcinek referencyjny [kN].

Wykonano też analizy porównawcze wybranych parametrów wytrzymałościowych. Ze względu na ograniczenia co do objętości niniejszej publikacji niemożliwe jest zaprezentowanie całości wyników badań. Dlatego też zamieszczono tylko przykładowe wyniki analizy, które znajdują się na wykresach 4–7. Ich syntetyczne omówienie w formie wniosków zawarto w podsumowaniu.

Wyniki badań wytrzymałościowych drutów, uwzględniające położenie w linii i numer odcinka liny, zawierają wykresy 4–7. Przedstawiają regresję pomiędzy zmierzoną liczbą skręceń a zmierzoną liczbą skręceń. Ta zależność przedstawiona jest dla drutów ze wszystkich odcinków liny o identycznych średnicach nominalnych i położeniu w linii. Na osi odciętych znajdują się wartości zmierzonych sił zrywających druty, a na osi rzędnych zmierzone liczby skręceń. W ramce na wykresie znajdują się:

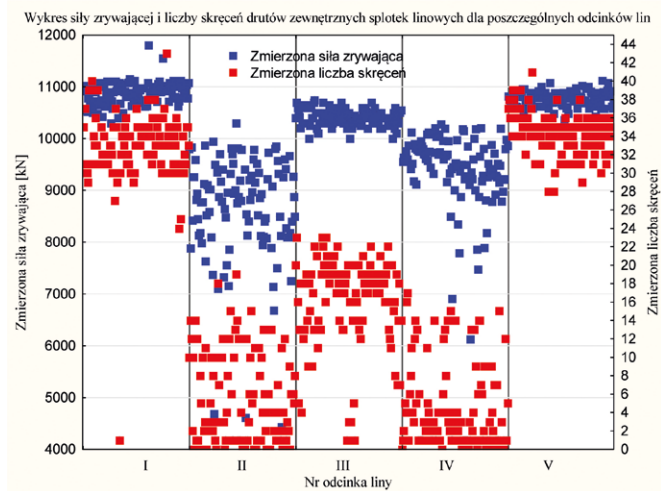
- równanie prostej regresji – y ;
- współczynnik korelacji – r ;
- poziom istotności – p ;
- współczynnik determinacji – r^2 .

Druty z odpowiadającą im liczbą skręceń i siłą zrywającą reprezentowane są na płaszczyźnie wykresu przez niebieskie znaczki. Grubszymi liniami czerwonymi zaznaczone są dolne granice tolerancji korelowanych parametrów drutów. Cieńszą czerwoną linią zobrazowana jest prosta regresji, a czerwonymi kreskowymi liniami zaznaczone są pasy regresji (przedział ufności $1-\alpha = 0,95$).

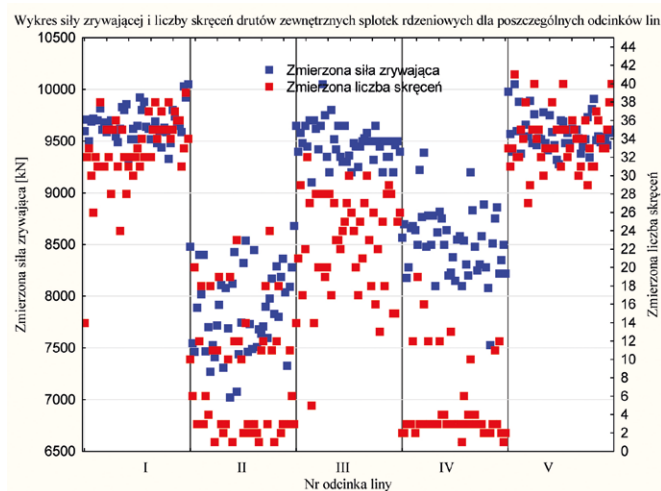
Podsumowanie

Podsumowanie odnosi się do całości badań, jakie zostały wykonane, a nie tylko do przykładowych wyników przedstawionych powyżej.

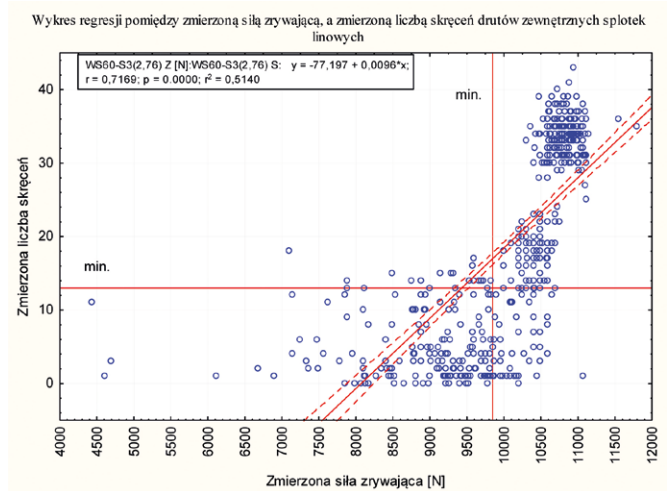
1. Badane odcinki tej samej liny stalowej pracującej w mechanizmie podnoszenia maszyn górnictwa odkrywkowego znacząco różnią się między sobą stopniem zużycia (tj. sumaryczną siłą zrywającą). Największe zużycie wykazują odcinki lin pobrane z miejsc o stwierdzonej największej częstości przeginania na krążkach. Dla zaprezentowanej badanej liny był to odcinek II, a jego osłabienie względem referencyjnego odcinka I wyniosło 15,3%.
2. Odcinki lin zbiegających z bębnow praktycznie nie wykazują oznak zużycia. Odcinki I i V w badaniach prezentowanych powyżej uzyskały prawie identyczną sumaryczną siłę zrywającą, wynoszącą około 3220 kN.
3. Druty z odcinków lin charakteryzujące się większym osłabieniem (wg kryterium sumarycznej siły zrywającej) posiadają gorsze własności plastyczne, objawiające się spadkiem liczby skręceń jednokierunkowych. Zaobserwowano istotny związek między spadkiem siły zrywającej a spadkiem liczby skręceń drutów o tej samej średnicy nominalnej i tym samym położeniu w linii.



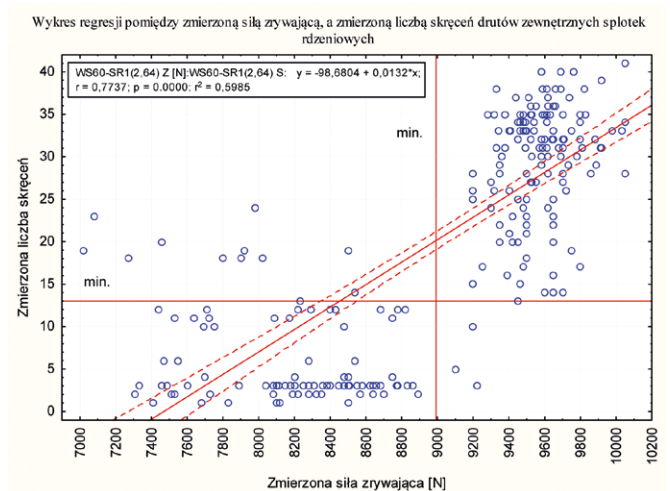
Wykres 4. Wykres siły zrywającej i liczby skręceń drutów zewnętrznych splotek linowych dla poszczególnych odcinków lin



Wykres 5. Wykres siły zrywającej i liczby skręceń drutów zewnętrznych splotek rdzeniowych dla poszczególnych odcinków lin



Wykres 6. Wykres regresji pomiędzy zmierzoną siłą zrywającą a zmierzoną liczbą skręceń drutów zewnętrznych splotek linowych



Wykres 7. Wykres regresji pomiędzy zmierzoną siłą zrywającą a zmierzoną liczbą skręceń drutów zewnętrznych splotek rdzeniowych

4. Największe zużycie, objawiające się spadkiem własności wytrzymałościowych i plastycznych, wykazują druty zewnętrzne splotek i druty zewnętrzne splotek rdzeniowych. W obszarze kontaktowym tychże drutów występuje styk punktowy, który znacznie przyspiesza zużycie prowadzące do osłabienia linii.
5. Pomimo wystąpienia znacznego spadku wszystkich własności wytrzymałościowych drutów, co skutkuje stwierdzonym osłabieniem, nie stwierdzono widocznych symptomów zużycia zmęczeniowego objawiających się pękaniem drutów. W rezultacie ogranicza to przydatność metody badań magnetycznych na rzecz metody wizualnej polegającej m.in. na pomiarze średnicy linii. Pomiar średnicy linii metodą

- aparaturową usuwałyby takie błędy, jakie powstają w trakcie pomiaru suwmiarką [8]. Przykład takiego błędu pomiarowego uwidoczniony jest na wykresie 1.
6. Wyniki badań mogą być pomocne dla diagnostów oraz personelu technicznego podczas kontroli stanu technicznego linii pracujących we wciągarkach głównych maszyn odkrywkowych, gdyż wyraźnie pokazują, które fragmenty linii, ze względu na liczbę przegięć, powinny być poddane kontroli wizualnej.
7. Analiza wyników badań wytrzymałościowych pobranych odcinków potwierdziła zasadność kryteriów odkładania linii zawartych w normie PN-M-80284:1997 *Górnictwo odkrywkowe. Dopuszczalne zużycie linii stalowych.*

Literatura

- [1] TAJDUŚ A., CZAJA P., KASZTELEWICZ Z.: *Stan obecny i strategia rozwoju branży węgla brunatnego w I połowie XXI wieku w Polsce*. „Górnictwo i Geologia”, tom 5. zeszyt 3, 2010.
- [2] GRUDZIŃSKI Z.: *Metody oceny konkurencyjności paliw do wytwarzania energii elektrycznej*. „Przegląd Górniczy” 5/2014.
- [3] PN-EN 12385-1+A1:2009: *Liny stalowe. Bezpieczeństwo. Część 1: Wymagania ogólne*.
- [4] PN-M-80284:1997: *Górnictwo odkrywkowe. Dopuszczalne zużycie lin stalowych*.
- [5] KASZTELEWICZ Z.: *Koparki wielonaczyniowe i zwałowarki taśmowe. Technologia pracy*. Fundacja Nauka i Tradycje Górnicze, Kraków 2012.
- [6] PN-H-04316:1984: *Próba statycznego rozciągania drutów*.
- [7] PN-ISO 7800:1996: *Metale. Drut. Próba jednokierunkowego skręcania*.
- [8] OLSZYNA G., SIOMA A., TYTKO A.: *Assessment of the condition of hoisting ropes by measuring their geometric parameters in a three-dimensional image of their surface*. ARCHIVES OF MINING SCIENCES, Kraków 2013, tom 58, nr 3, s. 643–654.



mgr inż. Dominik Jambor – Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Katedra Transportu Linowego; prof. dr hab. inż. Andrzej Tytko – Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Katedra Transportu Linowego

artykuł recenzowany