

**mgr inż. Henryk Komander**  
**prof. dr hab. inż. Monika Hardygóra\***  
**dr inż. Mirosław Bajda**  
**inż. Grzegorz Komander**

Institute of Mining Engineering  
Wroclaw University of Technology  
Machinery Systems Division  
Plac Teatralny, 50-051 Wroclaw, Poland  
E-mail: henryk.komander@pwr.wroc.pl  
monika.hardygora@pwr.wroc.pl  
miroslaw.bajda@pwr.wroc.pl  
grzegorz.komander@pwr.wroc.pl

\*KGHM Cuprum R&D Center, Poland  
ul. Gen. W. Sikorskiego 2-8, 53-659 Wroclaw

**mgr inż. Paweł Lewandowicz**  
Poltegor-Institute, Institute of Open Cast Mining  
ul. Parkowa 25, 51-616 Wroclaw  
E-mail: pawel@igo.wroc.pl

## **Metody oceny odporności taśm przenośnikowych na uszkodzenia powodowane dynamicznym działaniem mas skupionych**

### **Assessment methods of conveyor belts impact resistance to the dynamic action of a concentrated load**

**Słowa kluczowe:** taśma przenośnikowa, odporność na przebijanie, badania laboratoryjne

**Keywords:** belt conveyor, puncture resistance, experiments

**Streszczenie:** Przedstawiono metody badania odporności taśm przenośnikowych na przebijanie w aspekcie oceny przydatności taśm do transportu ostrokrawędzistych materiałów skalnych. Omówiono stosowane metody wyznaczania krytycznej energii uderzenia, przedstawiono nową metodę wyznaczania energii krytycznej oraz metodę wyznaczania energii średniej uderzenia obejmującą pewien zakres uszkodzeń taśmy, co bardziej miarodajnie charakteryzuje odporność taśmy na uderzenia. Przedstawiono algorytm oraz metodę szacowania krytycznej energii uderzenia na podstawie pomiaru energii traconej w trakcie uderzenia masy w taśmę przenośnikową.

**Abstract:** The methods of testing conveyor belt's puncture resistance in terms of assessing their suitability for the transport of sharp-edged rocks are presented. Methods of determining the critical impact energy of strokes are discussed together with a new method for determining the critical energy and the method of determining the average impact energy taking into account selected belt damages range, which more fully characterize their resistance to impact. The algorithm and the method of estimating the critical impact energy based on measurements of energy absorbed by belt during rock mass strike is presented.

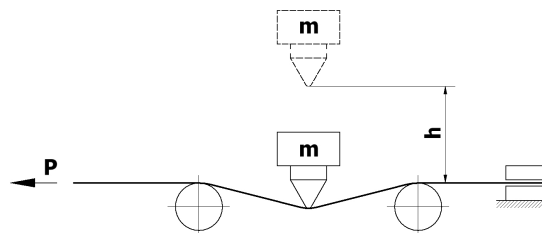
## **1. Wstęp**

Wieloletnie doświadczenia z eksploatacji taśm na przenośnikach transportujących urobek skalny, a także na przenośnikach krótkich stosowanych na przykład na koparkach wielonaczyniowych i zwałowarkach pokazują, że główną przyczyną zużycia taśm są uszkodzenia w postaci przebić i przecięć powodowanych uderzeniami spadających brył

urobku w miejscach przesypów. Badania przeprowadzone w Laboratorium Transportu Taśmowego (LTT) Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej wykazały, że uszkodzenia taśm w początkowym okresie ich eksploatacji zwykle nie są widoczne po stronie zewnętrznej. Dopiero po odsłonięciu rdzenia taśmy można stwierdzić występujące uszkodzenia linek lub rdzenia tkaninowego, odwarstwień i pęknięć. W trakcie eksploatacji taśm ilość powstałych uszkodzeń systematycznie wzrasta, następuje ich kumulacja w wyniku czego powstają rozległe pęknięcia, wyrwania okładek oraz następuje spadek wytrzymałości rdzenia taśmy. Taśmy pracujące na przenośnikach transportujących ostrokrawędzisty materiał skalny ulegają zużyciu prawie wyłącznie w skutek występowania wyżej opisanych uszkodzeń, które znacznie skracają ich trwałość. Aby temu zapobiec opracowywane są metody monitoringu stanu taśm, za pomocą których można rejestrować między innymi wielkość, liczbę i położenie uszkodzeń w taśmie [7].

Istotnym elementem zwiększającym trwałość eksploatacyjną taśm jest ich wysoka odporność na przebicia i przecięcia. Jest to ważne kryterium oceny ich trwałości eksploatacyjnej, ponieważ zabezpiecza rdzeń taśmy przed wnikaniem wody i korozją linek stalowych lub pęknięciami przekładek tkaninowych. Laboratoryjne prace dotyczące odporności taśm przenośnikowych na uderzenia prowadzone są od szeregu lat zarówno przez krajowe, jak i zagraniczne ośrodki naukowe oraz przez niektórych producentów taśm [2, 3, 4, 5, 8, 10]. Zakres tych badań jest jednak ograniczony do wyznaczania energii krytycznej uderzenia. Zasadniczo nie badano wpływu energii uderzenia na wielkość uszkodzenia.

Metoda badania polega na uderzaniu w taśmę przenośnikową bijaka o określonej masie i kształcie, spadającego z określonej wysokości (rys. 1) a następnie identyfikowaniu powstałych w taśmie uszkodzeń.



Rys. 1. Schemat obciążenia taśmy spadającym bijakiem.

Miarą odporności taśmy na przebijanie jest energia uderzenia:

$$E = m \cdot g \cdot h \text{ [J]} \quad (1)$$

gdzie:

$m$  – masa bijaka [kg],  $g$  – przyspieszenie ziemskie [ $\text{m/s}^2$ ],  $h$  – wysokość spadku bijaka [m].

Energię przy której powstają pierwsze uszkodzenia taśmy przyjęło się określać mianem energii krytycznej  $E_k$ . Wartość energii krytycznej zależy m.in. od kształtu bijaka, sposobu podparcia taśmy, siły napięcia taśmy, masy bijaka i wysokości jego spadku.

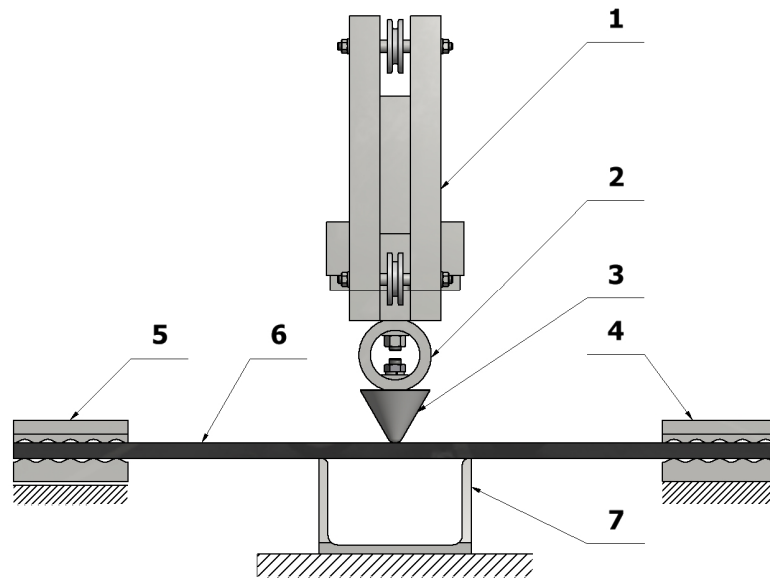
W dotychczasowej praktyce energia krytyczna  $E_k$  jest jedynym kryterium oceny odporności taśm na przebijanie. Tymczasem stwierdzono, na podstawie badań przeprowadzonych w Laboratorium Transportu Taśmowego (LTT) dla potrzeb użytkowników taśm w górnictwie odkrywkowym i kopalń rud miedzi, że wyznaczanie jedynie energii krytycznej nie jest wystarczające do pełnej oceny odporności taśm na przebijanie. Wynika to stąd, że przy uderzeniach z energią większą od energii krytycznej, wielkość powstałych uszkodzeń może być zdecydowanie inna dla różnych taśm pomimo podobnej wartości  $E_k$ . Dlatego opracowano nową metodę badania, według której wyznacza się energię średnią uderzenia  $E_m$ , dla zakresu wielkości uszkodzeń od zera do 60 mm [6]. Przyjęty zakres wielkości uszkodzeń odpowiada najczęściej spotykanym uszkodzeniom taśm w praktyce

eksploatacyjnej. Na podstawie przeprowadzonych badań zaproponowano także nową metodę wyznaczania energii krytycznej  $E_k$ . Dotychczasowa metoda polega na identyfikowaniu wartości energii uderzenia, która powoduje pierwsze uszkodzenia taśmy. Wyznaczenie wielkości tej energii jest uciążliwe i mało precyzyjne z powodu trudności w ocenie czy powstałe uszkodzenie jest tym pierwszym (najmniejszym) uszkodzeniem. Nową metodą energię krytyczną wyznacza się za pomocą wykresu zależności wielkości uszkodzenia  $L$  od energii uderzenia  $E$  i jest ona zdefiniowana jako wartość powyżej której w taśmie wystąpią uszkodzenia. Wielkość  $E_k$  jest tutaj jednoznacznie określona przez punkt przecięcia wykresu  $E=f(L)$  z osią  $E$ .

Jednoznaczny sposób wyznaczania energii krytycznej uderzenia ma szczególne znaczenie przy doborze taśmy do warunków pracy, gdzie z uwagi na spadanie z dużej wysokości brył nosiwa o dużej masie, taśmę dobiera się z uwzględnieniem jej odporności na przebijanie. Podejmowane są próby wstępnego oszacowania wartości energii krytycznej na przykład przy założeniu, że energia ta jest proporcjonalna do wytrzymałości taśmy na zerwanie [1]. Uzyskane tą metodą wyniki są jedynie zgrubnym przybliżeniem i nie mogą zastąpić eksperymentalnego wyznaczania tej wartości. Opracowane nowe metody wyznaczania odporności taśm przenośnikowych na przebijanie dają możliwości dokładniejszej oceny tej właściwości taśm, co w efekcie powinno wpłynąć na wzrost ich trwałości w czasie pracy na przenośniku w trudnych warunkach eksploatacyjnych. Miarodajna ocena odporności taśmy na uderzenia jest także istotna z uwagi na fakt, że coraz więcej użytkowników taśm wymaga od ich producentów aby taśmy spełniały określone wymagania dotyczące odporności na przebijanie.

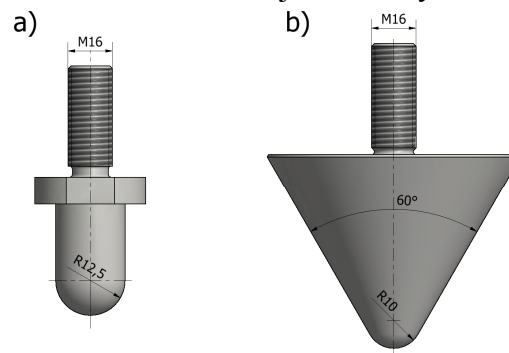
## 2. Stanowisko badawcze

Stanowisko do badania odporności taśm na przebijanie powinno zapewnić warunki obciążenia taśmy jak najbardziej zbliżone do występujących na nadawach przenośników taśmowych. Takie stanowisko zbudowano w Laboratorium Transportu Taśmowego Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Taśma przenośnikowa mocowana jest w hydraulicznych szczękach pozwalających na jej napięcie równe 10% jej nominalnej wytrzymałości [6]. Pod taśmą znajduje się podpora o rozstawie belek równym 200 mm, co odpowiada odległości zestawów krążnikowych na nadawie w większości przenośników taśmowych. Element podporowy umieszczony jest w osi bijaka. Masa bijaka wraz z wózkiem zrzutowym może wynosić od 50 do 70 kg, a wysokość jego zrzutu może być przyjmowana do 3,0 m. Na stanowisku istnieje możliwość zamocowania próbki o szerokości do 500 mm i długości do 1300 mm. Ze względu na to, że badanie jednej próbki wymaga wykonania kilkunastu zrzutów bijaka z różnej wysokości, próbka przesuwana jest po każdym uderzeniu bijaka w nowe położenie aby wyeliminować efekt kumulacji uszkodzeń. Zasadnicze elementy stanowiska badawczego pokazano na rys. 2.



Rys.2. Elementy podparcia i naciągu taśmy na stanowisku badawczym; 1-wózek zrzutowy, 2-dynamometr, 3-bijak stożkowy, 4-szczęka zaciskowa stała, 5-szczęka zaciskowa ruchoma, 6-taśma przenośnikowa, 7-podpora.

Stanowisko badawcze posiada układ pomiarowy do rejestracji przebiegu siły uderzenia bijaka w taśmę przenośnikową, układ pomiarowy siły napinania próbki i dalmierz laserowy do pomiaru wysokości spadku bijaka. Cały układ pomiarowy posiada aplikację, która umożliwi zapis oraz analizę rejestrowanych sygnałów siły uderzenia, naciągu próbki, energii uderzenia oraz względną wartość energii traconej w czasie uderzenia bijaka w taśmę. Na rys. 3 pokazano dwa najczęściej stosowane do badań bijaki: kulisty oraz stożkowy.



Rys.3. Kształt i wymiary bijaków; a) kulistego, b) stożkowego

### 3. Ocena odporności taśmy na przebijanie metodą wyznaczenia energii krytycznej $E_k$ .

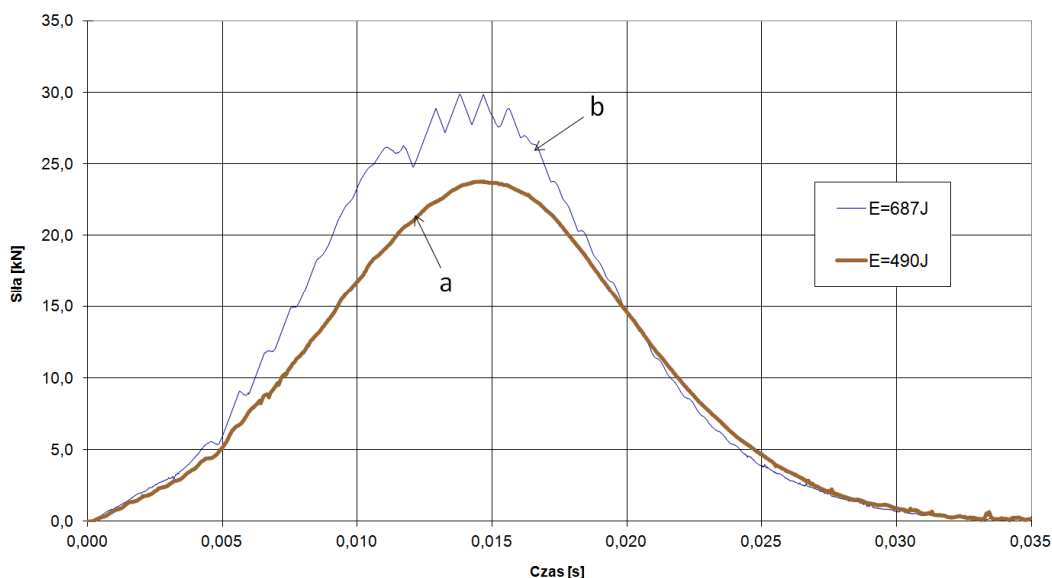
Identyfikacja energii krytycznej [3, 4, 5, 6, 9] może być dokonywana na podstawie:

- oceny wizualnej,
- przebiegu siły uderzenia,
- pomiaru energii traconej,
- wykresu zależności wielkości uszkodzenia od energii uderzenia.

**Metoda wizualna oznaczenia energii krytycznej  $E_k$**  polega na poddawaniu taśmy uderzeniom ze wzrastającą energią, po czym odwarstwia się okładkę gumową taśmy, aby sprawdzić przy jakiej energii uderzenia nastąpiło pierwsze widoczne uszkodzenie okładki lub rdzenia taśmy. Ta metoda wymaga powtarzania badań na kolejnej próbce, ponieważ na

podstawie badań pierwszej próbki uzyskuje się przybliżoną wartość  $E_k$ . Badania drugiej próbki przeprowadza się wykonując zrzuty bijaka z wysokości zbliżonej do tej, przy której stwierdzono pierwsze uszkodzenie taśmy.

**Metoda oznaczenia  $E_k$  na podstawie wykresu siły uderzenia** polega na rejestrowaniu przebiegu wielkości siły uderzenia bijaka w taśmę dla określonej serii uderzeń i na podstawie porównania kształtu uzyskanych wykresów, identyfikowanie wystąpienia lub braku uszkodzeń taśmy.



Rys.4. Wykresy siły uderzenia w czasie dla taśmy ST4500 12T+8T dla różnych energii uderzenia  $E$ .

W przypadku braku uszkodzenia zapis przebiegu siły uderzenia jest gładki i symetryczny, przy wystąpieniu uszkodzenia zapis ulega załamaniu i staje się niesymetryczny. Na rysunku 4 przedstawiono przykładowo wykresy siły uderzenia dla taśmy z linkami stalowymi ST4500. Przebieg wykresu „a” świadczy o braku uszkodzenia, a wykres „b” świadczy o wystąpieniu uszkodzenia. Metoda ta sprawdza się w przypadku taśm tkaninowych oraz taśm z linkami stalowymi wzmacnianych przekładkami tkaninowymi. Zawodzi natomiast w sytuacji, gdy przebija się taśmy z linkami stalowymi bez wzmocnień. Przy niższych wartościach energii zrzutu guma okładkowa może pozostać nieuszkodzona, natomiast może wystąpić odwarstwienie się linki od gumy co nie jest uwidocznione na wykresie przebiegu siły uderzenia.

**Metoda oznaczenia  $E_k$  na podstawie pomiaru energii traconej** opiera się na założeniu, że powstanie trwałego uszkodzenia taśmy powinno pochłaniać pewną ilość energii [8]. Energia tracona  $E_t$  jest sumą energii zamienianej na ciepło  $E_c$ , oraz energii zużytej na powstanie uszkodzenia  $E_{usz}$ .

$$E_t = E_c + E_{usz} \quad (2)$$

Wartość energii traconej oblicza się zakładając, że energia uderzenia  $E$  jest sumą energii odbicia  $E_{odb}$  oraz energii traconej  $E_t$ .

$$E = E_{odb} + E_t \quad (3)$$

Wartość  $E$  jest znana, natomiast wartość  $E_{odb}$  można obliczyć na podstawie znajomości prędkości odbicia i masy bijaka. Prędkość odbicia można zmierzyć lub obliczyć z wykresu siły w funkcji czasu zarejestrowanego podczas uderzenia. Całkując wykres siły uderzenia w funkcji czasu uzyskuje się impuls siły, będący zmianą pędu:

$$\int P dt = m \cdot \Delta v \quad (4)$$

gdzie:  $m$  - masa;  $v$  - prędkość.

Jeżeli wartość tą podzielimy przez masę otrzymamy zmianę prędkości:

$$\Delta v = \frac{\int P dt}{m} \quad (5)$$

Odejmując od tego wartość prędkości bijaka w momencie uderzenia, zmierzoną lub policzoną z porównania energii kinetycznej i potencjalnej spadającego ciała, otrzymamy prędkość odbicia  $v_{odb}$ :

$$v_{odb} = \Delta v - v_{ud} \quad (6)$$

czyli:

$$v_{odb} = \frac{\int P dt}{m} - \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (7)$$

gdzie:  $g$  - przyciąganie ziemskie;  $h$  - wysokość z której zrzucano ciężar;  $v_{ud}$  - prędkość bijaka w momencie uderzenia;  $v_{odb}$  - prędkość odbicia.

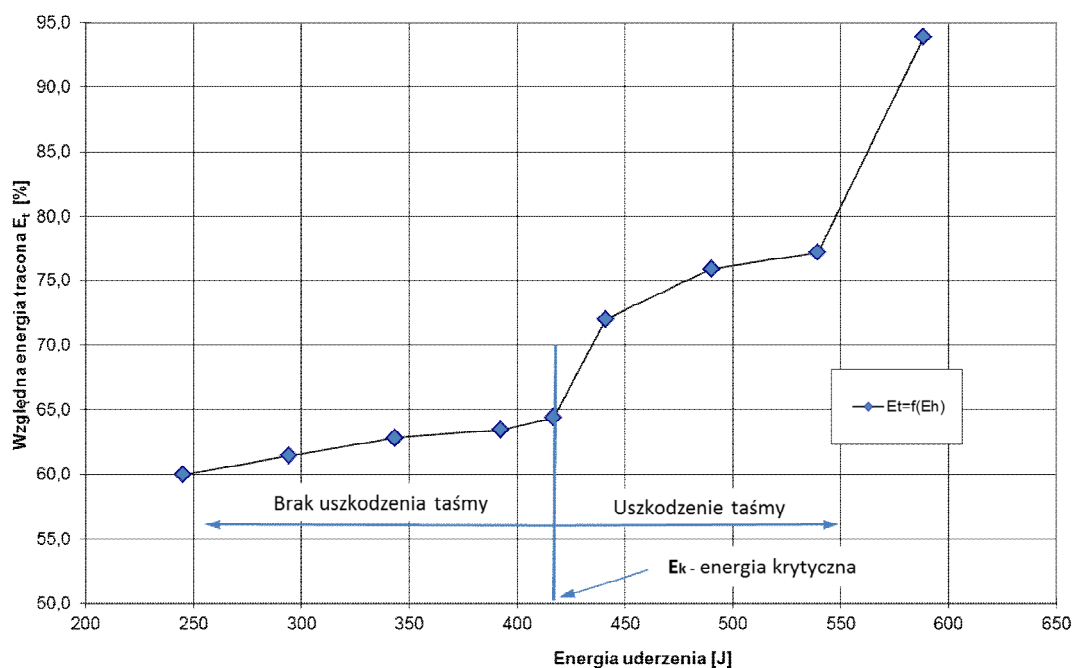
Na tej podstawie możemy obliczyć energię odbicia  $E_{odb}$ :

$$E_{odb} = \frac{m \cdot v_{odb}^2}{2} \quad (8)$$

Znając energię uderzenia  $E$  oraz energię odbicia, możemy obliczyć względną wartość energii traconej (pochłoniętej):

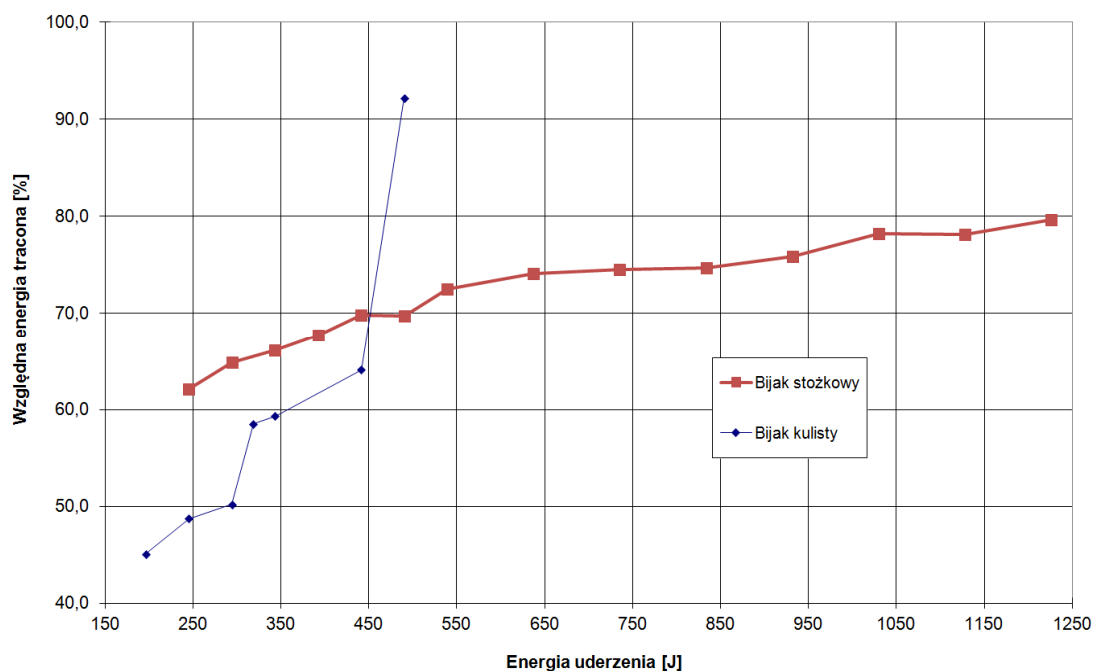
$$E_t = \frac{E - E_{odb}}{E} \cdot 100, \% \quad (9)$$

Względna wartość energii traconej przy przebicciu, jest różna dla każdej z taśm. W celu praktycznego zastosowania opisanej metody należy, na podstawie przeprowadzonych badań, ustalić zależność energii traconej od energii uderzenia bijaka ( $E_t = f(E)$ ) dla badanej taśmy. Krzywa ta ulega w charakterystyczny sposób załamaniu po przekroczeniu energii krytycznej  $E_k$  spadku bijaka i wiąże się z pochłonięciem części energii i zamianę jej na pracę uszkodzenia taśmy (rys. 5).



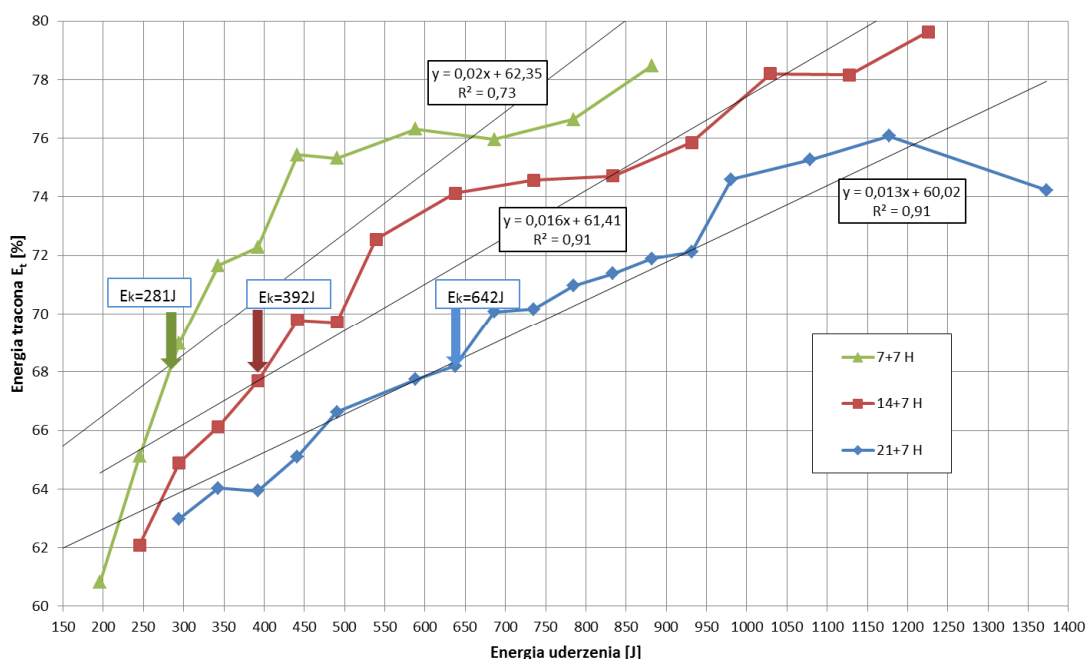
Rys.5. Wykres zależności energii traconej od energii uderzenia bijaka  $E_t=f(E)$  dla taśmy z linkami stalowymi ST 3150 21+7-L (bijak kulisty).

Metoda ta sprawdza się przy zastosowaniu bijaka kulistego o promieniu  $R = 12,5$ mm. Wykresy energii pochłoniętej w przypadku bijaka stożkowego posiadają inny przebieg (rys. 6) i trudno jest z nich w sposób jednoznaczny określić miejsce wzrostu energii traconej, pochłoniętej na uszkodzenie próbki. Wpływ na to ma kształt bijaka stożkowego, który podczas zagłębiania się w taśmę zwiększa swoją powierzchnię styku, zmniejszając tym samym nacisk jednostkowy.



Rys. 6. Przebiegi wartości energii traconej dla bijaka kulistego i stożkowego dla taśmy ST 3150 H 14+7.

Wychodząc jednak z założenia, że uszkodzenie taśmy musi być związane z pochłonięciem większej ilości energii, oznaczono wartość średniej energii traconej w postaci linii trendu. Zestawiając go z wykresem energii traconej, zaobserwowano charakterystyczne przecięcie się tego wykresu z linią trendu, a więc „skonsumowanie” większej ilości energii, niż przy odbiciu sprężystym bijaka. Analiza próbek po zdjęciu okładki nośnej pokazała, że pierwsze uszkodzenia taśmy powstawały dla energii uderzenia, dla której wykres wartości energii traconej przeciął linię trendu. Punkt przecięcia się wykresu energii traconej z jego linią trendu, jest więc punktem krytycznym powyżej którego taśmę uważamy za uszkodzoną. Energia uderzenia odpowiadająca temu punktowi jest więc energią krytyczną  $E_k$ . Na rys.7 przedstawiono 3 wykresy energii traconej wraz z ich liniami trendu, na których dodatkowo strzałkami oznaczono wartości energii krytycznej  $E_k$ .

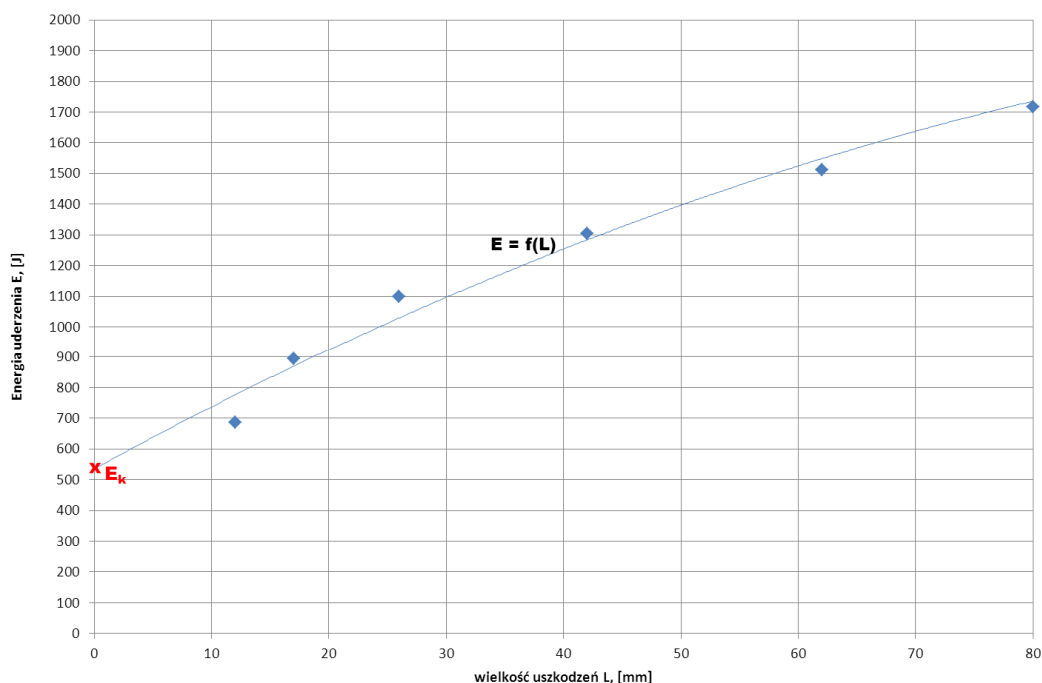


Rys.7. Przykład wyznaczania energii krytycznej uderzenia dla trzech taśm ST 3150 o różnej grubości okładki nośnej za pomocą wykresów energii traconej (bijak stożkowy).

**Metoda oznaczenia  $E_k$  za pomocą wykresu zależności wielkości uszkodzenia od energii uderzenia** polega na poddawaniu taśmy wielokrotnym uderzeniom ze wzrastającą energią, a następnie po zdjęciu okładki taśmy identyfikowaniu wielkości powstałych uszkodzeń. Uszkodzenia taśmy mają zazwyczaj kształt pęknięć wzdłużnych okładek lub rdzenia taśmy. W taśmach z linkami stalowymi mogą to też być odwarstwienia linek od gumy. Miarą wielkości uszkodzenia jest długość  $L$  pęknięcia lub odwarstwienia. W dalszej kolejności sporządza się wykresy zależności wielkości uszkodzenia  $L$ [mm], od wartości energii uderzenia  $E$ [J]. Wykresy są opisywane równaniami matematycznymi tak dobranymi, aby współczynnik korelacji  $R^2$  był bliski jedności. Z reguły wysoki współczynnik korelacji uzyskuje się opisując wyniki badań równaniami liniowymi lub drugiego stopnia. Przecięcie wykresu  $E=f(L)$  z osią  $E$  wyznacza wartość krytycznej energii uderzenia  $E_k$  (rys.8) co oznacza, że jest ona liczbowo określona przez wolny wyraz równania. Opisana metoda wyznaczania  $E_k$  ma tą zaletę, że jej wartość jest jednoznacznie zidentyfikowana za pomocą punktu przecięcia wykresu z osią  $E$ . Tak wyznaczona energia  $E_k$  definiowana jest jako wartość powyżej której w taśmie wystąpią uszkodzenia. W poprzednio opisanych metodach



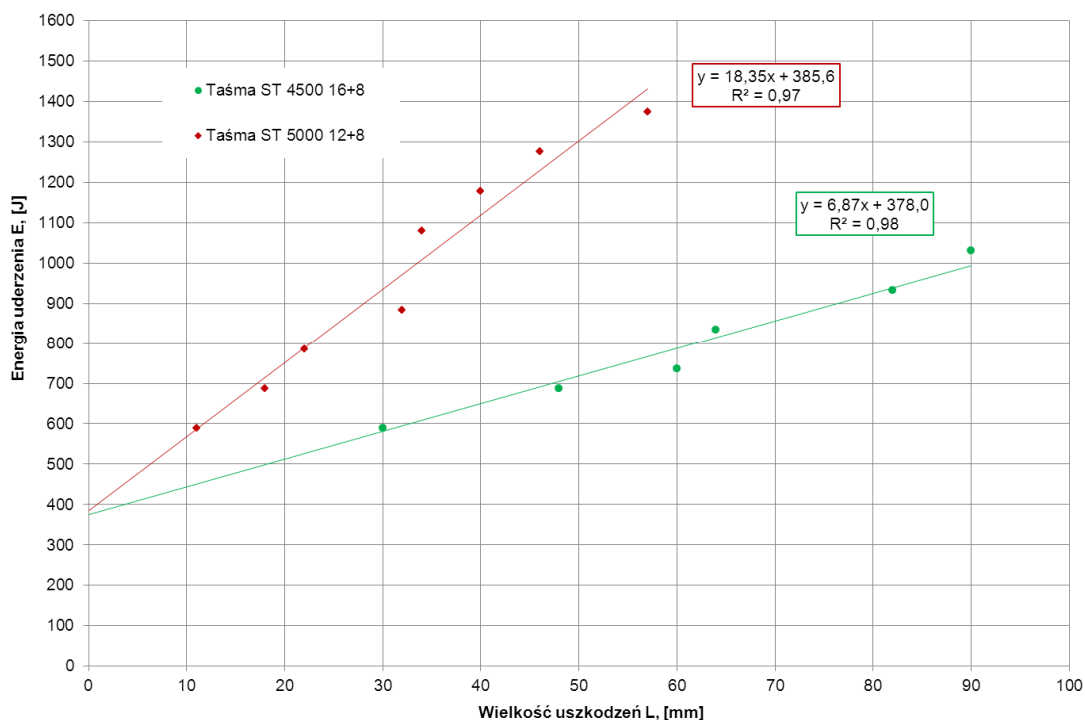
za  $E_k$  przyjmuje się wielkość przy której stwierdzono pierwsze uszkodzenie taśmy, co zwykle obarczone jest pewnym błędem.



Rys.8. Przykład wyznaczanie  $E_k$  za pomocą wykresu  $E=f(L)$ .

#### 4. Ocena odporności taśmy na przebijanie metodą oznaczania energii średniej uderzenia $E_m$ .

Na podstawie wielu badań odporności taśm na przebijanie, które przeprowadzono w LTT Politechniki Wrocławskiej stwierdzono, że oznaczenie jedynie energii krytycznej uderzenia  $E_k$  nie jest wystarczające do obiektywnej oceny odporności taśmy na uderzenia. Sprawdzając wykresy zależności wielkości uszkodzenia od energii uderzenia dla różnych taśm stwierdzono, że ich przebiegi mogą zdecydowanie różnić się kątem nachylenia do osi L [mm], przy jednocześnie małej różnicy energii krytycznej  $E_k$ . Widać to na przykładzie wyników badań dwóch taśm typu ST przedstawionych na rysunku 9 [6]. Energia krytyczna uderzenia  $E_k$  obydwu taśm jest niemal identyczna. Przy uderzeniach z energią większą od energii krytycznej uzyskano znacząco różne wielkości uszkodzeń. Na przykład przy energii uderzenia równej 900 J uszkodzenie jednej taśmy wynosi  $L=28$  mm, a drugiej taśmy  $L=75$  mm. Wyniki te jednoznacznie pokazują, że nie są to taśmy o takiej samej odporności na uderzenia.



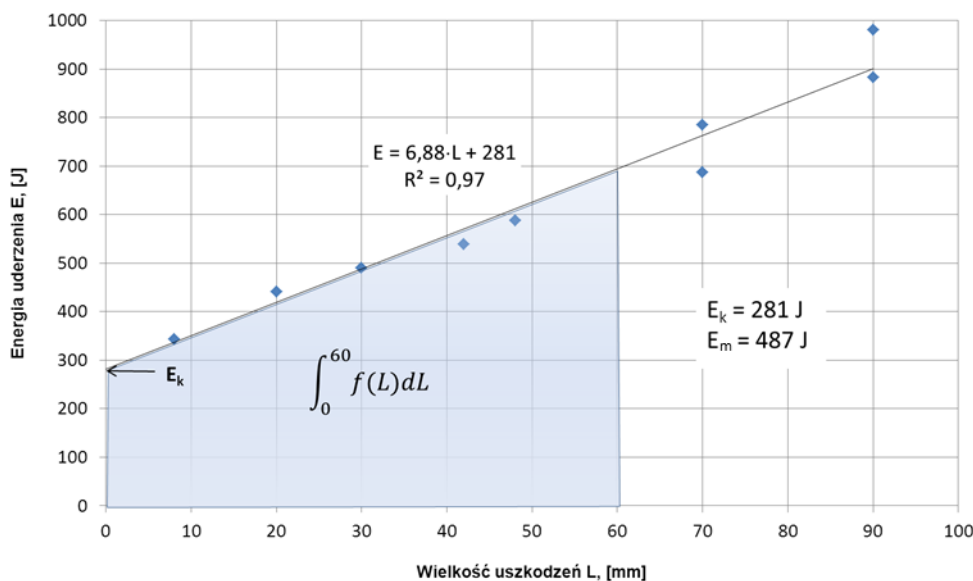
Rys.9. Wyniki badań odporności na przebicie taśm ST 4500 16+8 i ST 5000 12+8

Aby przy ocenie taśm uwzględnić ich odporność na uszkodzenia, także przy wyższych energiach uderzenia niż energia krytyczna  $E_k$ , zaproponowano aby odporność na przebijanie określać na podstawie wykresu przebijania w zakresie od zerowej, aż do jednakowej dla wszystkich badanych taśm wielkości uszkodzenia  $L$  i obliczać wartość średniej energii uderzenia z zależności:

$$E_m = \frac{\int_0^L f(L) \cdot dL}{L}, [J] \quad (10)$$

W przeprowadzonych w LTT badaniach przyjęto oznaczać  $E_m$  w zakresie wielkości uszkodzenia  $L$  od 0 do 60 mm. Odporność taśmy na przebijanie scharakteryzowana jest za pomocą dwóch wskaźników:  $E_k$  i  $E_m$ .

Przykład wyznaczenia odporności na przebijanie taśmy ST 3150 14+7 przedstawiono na rysunku 10. Punkty pomiarowe opisano zależnością  $E = 6,88 \cdot L + 281$ . Dla  $L = 0$  mm,  $E_k = 281$  J a energia średnia obliczona z zależności (10) dla  $L$  w zakresie od 0 do 60 mm wynosi  $E_m = 487$  J.



Rys.10. Przykład wyznaczania odporności na przebijanie taśmy ST 3150 14+7 za pomocą wykresu  $E=f(L)dL$  (bijak stożkowy R10/60).

## 5.Podsumowanie

- 1) Odporność taśm przenośnikowych na przebijanie ma istotny wpływ na trwałość eksploatacyjną taśm, zwłaszcza przy transporcie materiałów skalnych. Stosowane w różnych ośrodkach badawczych metody badań tej właściwości, wobec braku przedmiotowych norm nie są jednakowe, w związku z czym wyniki tych badań nie zawsze dają się porównywać. Utrudnia to między innymi, jednoznaczną ocenę skuteczności stosowanych wzmocnień poprzecznych taśm, mających polepszyć ich odporność na uszkodzenia.
- 2) Stosowana dotąd metodyka oceny odporności taśm na przebijanie jedynie na podstawie wyznaczenia energii krytycznej uderzenia  $E_k$  może być mało miarodajna. Stwierdzono, że w niektórych przypadkach taśmy charakteryzujące się prawie identyczną wartością energii krytycznej znacznie różnią się wielkością uszkodzeń powstałych pod wpływem uderzeń z energią większą od energii krytycznej. Aby bardziej miarodajnie ocenić odporność taśmy na uderzenia opracowano metodę wyznaczania energii średniej  $E_m$ , która obejmuje pewien zakres uszkodzeń taśmy. Jest uzasadnione aby ocenę odporności taśmy na uszkodzenia dokonywać na podstawie zarówno energii krytycznej  $E_k$  jak i energii średniej  $E_m$ .
- 3) Opracowana metoda wyznaczania energii krytycznej  $E_k$  za pomocą wykresu zależności wielkości uszkodzenia od energii uderzenia, zdefiniowana jako wartość powyżej której w taśmie wystąpią uszkodzenia, pozwala na dokładniejsze wyznaczenie tej wartości w porównaniu do metody według której energię krytyczną określa się na podstawie stwierdzonego pierwszego uszkodzenia taśmy.
- 4) Metoda wyznaczenia energii krytycznej  $E_k$  za pomocą analizy przebiegu siły uderzenia, nie daje wiarygodnych wyników i może jedynie pełnić funkcję pomocniczą w trakcie wykonywanych badań.
- 5) Przedstawiona nowa metoda wyznaczania odporności taśmy na przebijanie za pomocą pomiaru energii traconej jest próbą takiego uproszczenia badań, aby nie było konieczności odwarstwiania okładki gumowej od rdzenia taśmy celem

zidentyfikowania wielkości powstałych uszkodzeń. Uzyskane dotąd wyniki są obiecujące jeżeli chodzi o możliwość wyznaczenia tą metodą energii krytycznej uderzenia. Wydaje się celowe prowadzenie dalszych badań w kierunku wykorzystania tej metody także do oceny odporności taśm na uderzenia z energią większą od krytycznej.

**Acknowledgement:** The research work financed with the means of the State Committee for Scientific Research (Poland) in the years 2010-2013 as a research project.

## References

1. Antoniak J. Przenośniki taśmowe w górnictwie podziemnym i odkrywkowym energooszczędne. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010: 176-178.
2. Elvers K., Schnell W., Tonn H. A universal, highly effective cross reinforcement system for conveyor belts. Bulk Solid Handling 1989; 4: 393-396.
3. Flebbe H. & Hardygóra M. Zur Beaufschlagungsfestigkeit von Fordergurten. Braunkohle 1986; 7: 196-199.
4. Flebbe H. Untersuchung von Fordergurten auf ihre dynamische Festigkeit. Braunkohle 1982; 6: 186-191.
5. Hardygóra M., Komander H., Bajda M., Komander G. Conveyor belt with increased operational wear resistance. Transport&Logistics 2010; 19: 26-32.
6. Hardygóra M., Komander H., Bajda M., Komander G., Lewandowicz P. Taśma przenośnikowa o zwiększonej odporności na uszkodzenia eksploatacyjne przeznaczona do stosowania zwłaszcza w przemyśle wydobywczym węgla, rud miedzi i surowców skalnych. Sprawozdanie z badań Nr LTT/21/13 z realizacji projektu rozwojowego NCBiR Warszawa Nr 09-0009-10/2010, Wrocław 2013.
7. Kwaśniewski J. Monitoring elementem zwiększenia trwałości i niezawodności ciągłych systemów transportu węgla. Archives of Mining Science 2011; vol. 56; 4: 651-664.
8. Lewandowicz P., Prykowski J. Badania odporności taśm przenośnikowych na przebicia. Górnictwo Odkrywkowe 1996; 6: 39-52.
9. Palczak Cz., Komander H. Taśmy przenośnikowe do transportu materiałów skalnych. Cement Wapno, Gips 1971; 9: 288-292.
10. Sohnemann R., Heynhold J., Rickert K. Ermittlung des Beaufschlagungs – und Schlitzwiderstandes von querarmiertem Stahlseilgurten. Glückauf – Forschungshefte 1980; 41(5): 211-213.