

BADANIA ODPORNOŚCI NA USZKODZENIA TAŚM PRZENOŚNIKOWYCH Z LINKAMI STALOWYMI METODĄ WYZNACZANIA ENERGII PRZEBIJANIA

TESTS OF RESISTANCE TO DAMAGE OF STEEL CORD CONVEYOR BELTS BY METHOD OF APPOINTING THE ENERGY OF PUNCTURE

Henryk Komander, Mirosław Bajda, Grzegorz Komander - Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wroclawska
Paweł Lewandowicz - Poltegor - Instytut IGO, Wrocław

W artykule przedstawiono metody badania odporności taśm przenośnikowych na przebijanie i omówiono stosowane metody wyznaczania krytycznej energii uderzenia. Opracowano nową metodę wyznaczania energii krytycznej oraz energii średniej uderzenia. Przedstawiono algorytm oraz metodę szacowania krytycznej energii uderzenia na podstawie pomiaru traconej energii kinetycznej. Rezultatem są wyniki badań wpływu grubości okładki gumowej, wytrzymałości gumy okładek oraz rodzaju i wytrzymałości tkaninowych wzmocnień poprzecznych na odporność na przebijanie taśm przenośnikowych z linkami stalowymi. Ocenę wyników badań przeprowadzono za pomocą dwóch wskaźników: energii krytycznej i energii średniej uderzenia.

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

The methods of testing the resistance of conveyor belts to punching were presented and the methods of determining the critical impact energy were discussed. The paper presents a new method of determining the critical energy and the method of determining the average impact energy. The algorithm and the method of estimating the critical impact energy by measuring the energy loss was presented. It presents the results of the impact of the thickness of the rubber cover, the strength of the rubber cover and the type and strength of transverse material fabric reinforcement on resistance to punching conveyor belts steel cord. Evaluation of the results of research was carried out by means of two indicators: the critical energy and the average energy of impact.

Key words: belt conveyor, puncture resistance, experiments

Wstęp

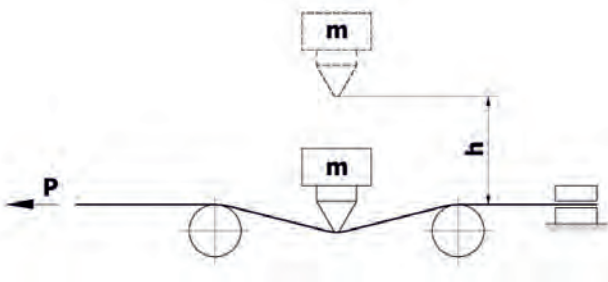
Taśmy transportujące urobek skalny ulegają zużyciu głównie z powodu uszkodzeń w postaci przebić i przecięć powodowanych uderzeniami spadających na taśmę brył urobku w miejscu jego załadunku. Uszkodzenia taśm w początkowym okresie ich eksploatacji zwykle nie są widoczne po stronie zewnętrznej. Dopiero po odsłonięciu rdzenia taśmy można stwierdzić występujące uszkodzenia linek lub rdzenia tkaninowego, odwarstwienia i pęknięcia. 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 wskutek występowania wyżej opisanych uszkodzeń, które znacznie skracają ich trwałość. Celem zwiększenia trwałości eksploatacyjnej taśmy podejmuje się wielokierunkowe działania zmierzające do obniżenia dynamicznych sił działających na taśmę, zwiększających odporność taśm na uderzenia oraz monitorujących stan taśmy. Istotne efekty uzyskuje się między innymi przez obniżenie wysokości spadku urobku na taśmę, stosowania zsuwni, amortyzowania podparcia taśmy i ograniczenia wielkości brył transportowanego urobku. Opracowywane są metody monitoringu stanu taśm

za pomocą których dokonuje się identyfikacji wielkości, liczby i usytuowania uszkodzeń taśmy [1]. Zapobiega to awaryjnym zerwaniom taśmy i umożliwia racjonalną ich gospodarkę przez wykonywanie napraw lub regeneracji we właściwym czasie. W badaniach laboratoryjnych poszukuje się zależności pomiędzy dynamicznymi naprężeniami a wytrzymałością zmęczeniową taśmy [2]. Badania wpływu właściwości wytrzymałościowych i konstrukcji taśm z linkami stalowymi na ich odporność na przebijanie prowadzone są od szeregu lat [3,4,5,6]. Wysoka odporność na przebijanie taśm jest jednym z najważniejszych kryteriów oceny ich trwałości eksploatacyjnej. W Laboratorium Transportu Taśmowego (LTT) Politechniki Wrocławskiej przeprowadzono badania wpływu grubości okładki nośnej taśmy, klasy gumy okładki oraz rodzaju wzmocnień poprzecznych na odporność taśm na przebijanie [7].

Metody wyznaczania energii przebijania taśm przenośnikowych

Badania odporności taśmy na przebijanie polegają na uderzaniu w taśmę przenośnikową bijaka o określonej masie i kształcie, spadającego z określonej wysokości (rys. 1) a następnie identyfikowaniu powstałych w taśmie uszkodzeń.

Miarą odporności taśmy na przebijanie jest energia uderzenia, przy której powstają pierwsze uszkodzenia taśmy, którą



Rys. 1. Schemat obciążenia taśmy spadającym bijakiem
Fig. 1. Diagram of loading the belt with falling head

przyjęto się określać mianem energii krytycznej.

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 taśmy na przebijanie. Identyfikacja energii krytycznej dokonywana jest na podstawie: oceny wizualnej lub przebiegu siły uderzenia.

Metoda wizualna wyznaczenia 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.

Metoda wyznaczenia E_k na podstawie wykresu siły uderzenia polega na rejestrowaniu zmienności siły w czasie uderzenia bijaka w taśmę. Na podstawie porównania kształtu uzyskanych wykresów, stwierdza się wystąpienie lub brak uszkodzenia taśmy.

Na rysunku 2 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. Wyniki badań uzyskiwane tą metodą są jednak za mało precyzyjne, aby mogły służyć do wiarygodnej oceny wielkości energii krytycznej.

Obowiązująca metoda wyznaczenia energii krytycznej bazuje na pomiarze wielkości traconej energii kinetycznej podczas uderzenia E_p , wyrażonej w procentach energii uderzenia, która to metoda opiera się na założeniu, że powstanie trwałego

uszkodzenia taśmy związane jest z pochłonięciem pewnej ilości energii [8]. Energię tę oblicza się z zależności:

$$E_t = \frac{E - E_{odb}}{E} \cdot 100 \quad (1)$$

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

$$E = m \cdot g \cdot h \quad (3)$$

gdzie:

m – masa bijaka [kg],

g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2],

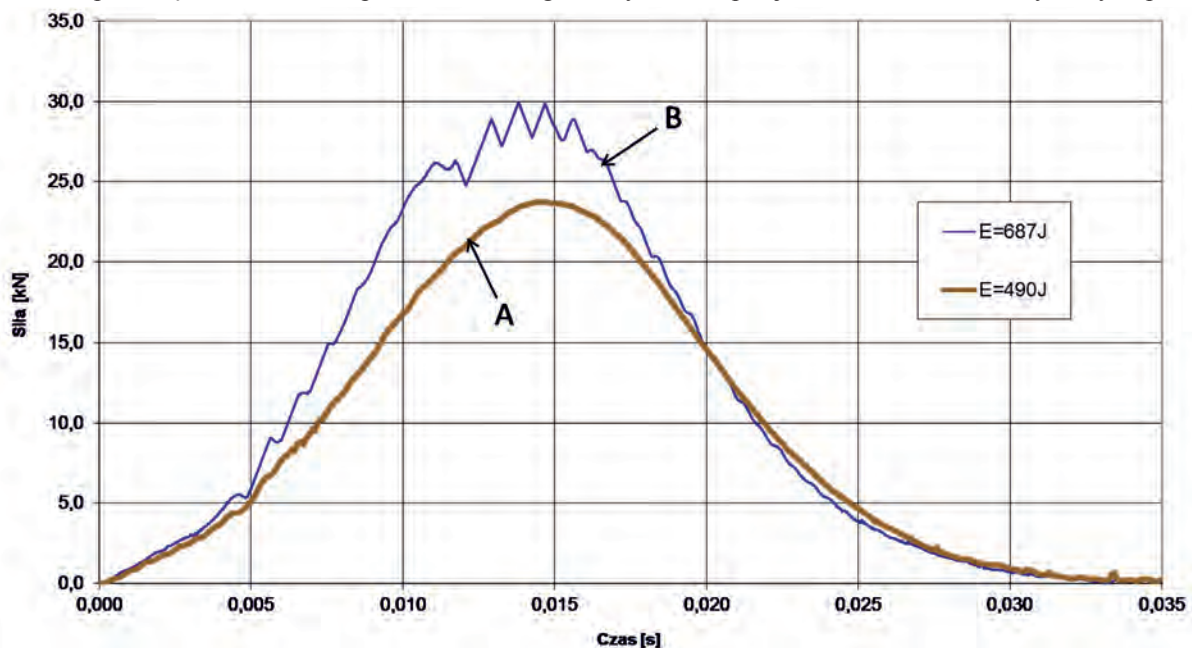
h – wysokość spadku bijaka [m],

v_{odb} – prędkość odbicia bijaka od taśmy.

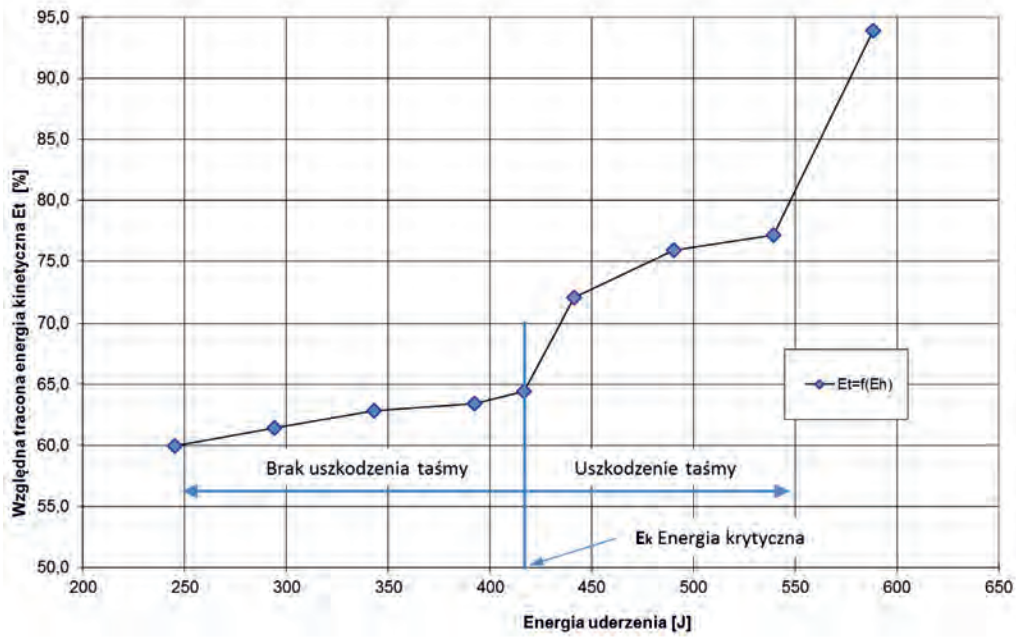
Zgodnie z tą metodą należy ustalić zależność traconej energii kinetycznej od energii uderzenia. Wykres tej zależności w momencie przekroczenia energii krytycznej uderzenia ulega załamaniu co przykładowo pokazano na rysunku 3. Ta metoda daje poprawne wyniki przy stosowaniu bijaka cylindrycznego. W przypadku bijaka stożkowego uzyskuje się dokładniejsze wyniki zestawiając wykres energii traconej z wykresem linii trendu wyników pomiaru energii traconej.

Na podstawie badań odporności taśm na przebijanie, które przeprowadzono w laboratorium LTT Politechniki Wrocławskiej stwierdzono, że wyznaczenie jedynie energii krytycznej uderzenia E_k nie jest wystarczające do obiektywnej oceny odporności taśmy na przebijanie. Stwierdzono, że wykresy zależności wielkości uszkodzenia od energii uderzenia dla różnych taśm mogą zdecydowanie różnić się kątem nachylenia do osi b [mm], przy jednocześnie małej różnicy energii krytycznej E_k .

Zastosowana metoda badań polega na poddawaniu taśm wielokrotnym uderzeniom ze wzrastającą energią E [J] a następnie, po zdjęciu okładki gumowej taśmy, identyfikowaniu długości powstałych uszkodzeń. Mierzona jest długość naruszenia spójności taśmy b (mm). Zależność $E = f(b)$ przedstawia się na wykresie i opisuje równaniem tak dobranym aby współczynnik



Rys.2. Wykresy siły uderzenia w czasie dla taśmy ST4500 12T+8T dla różnych energii uderzenia E
Fig. 2. Charts of stroke force vs. time for ST4500 12T+8T belt for different E stroke energies



Rys 3. Wykres zależności względnej traconej energii kinetycznej od energii uderzenia bijaka $E_t=f(E)$ dla taśmy z linkami stalowymi ST 3150 21+7-L (bijak kulisty)

Fig. 3. The relative kinetic absorbed energy vs. $E_t=f(E)$ head impact energy for ST 3150 21+7-L belt with steel cords (spherical head)

korelacji R_2 przyjął wartość bliską jedności. Energię krytyczną E_k oblicza się podstawiając do zależności $E = f(b)$ wartość $b=0$ dodatkowo oblicza się energię średnią E_m z zależności:

$$E_m = \frac{b=60}{b=0} \frac{f(b) \cdot db}{b}, [J] \quad (4)$$

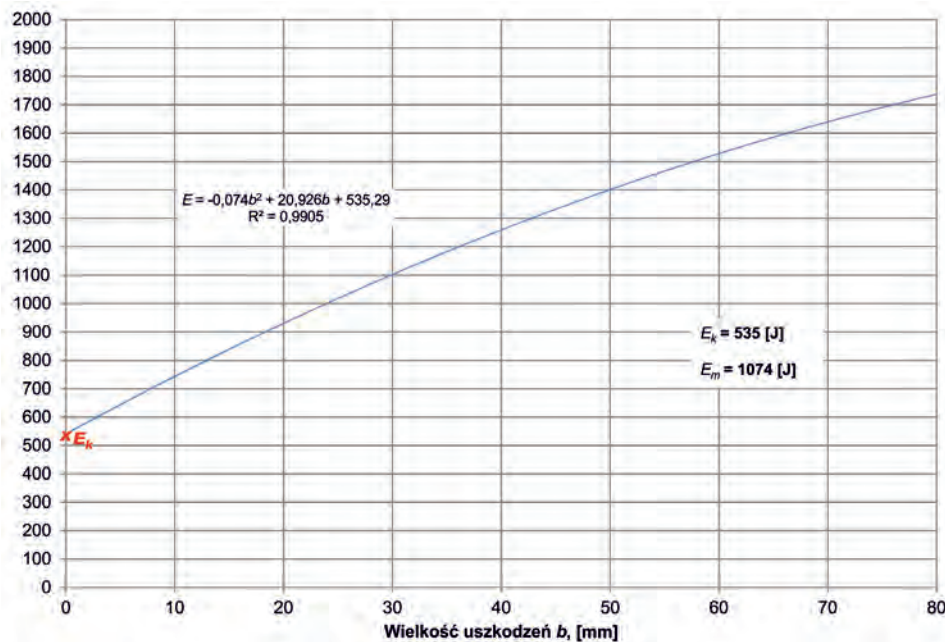
Przyjęty zakres całkowania odpowiada najczęściej spotykanym uszkodzeniom taśm w praktyce eksploatacyjnej. Przykład wyznaczania E_k i E_m dla wybranej taśmy typu ST3150 14T+7T pokazano na rysunku 4.

Stanowisko badawcze

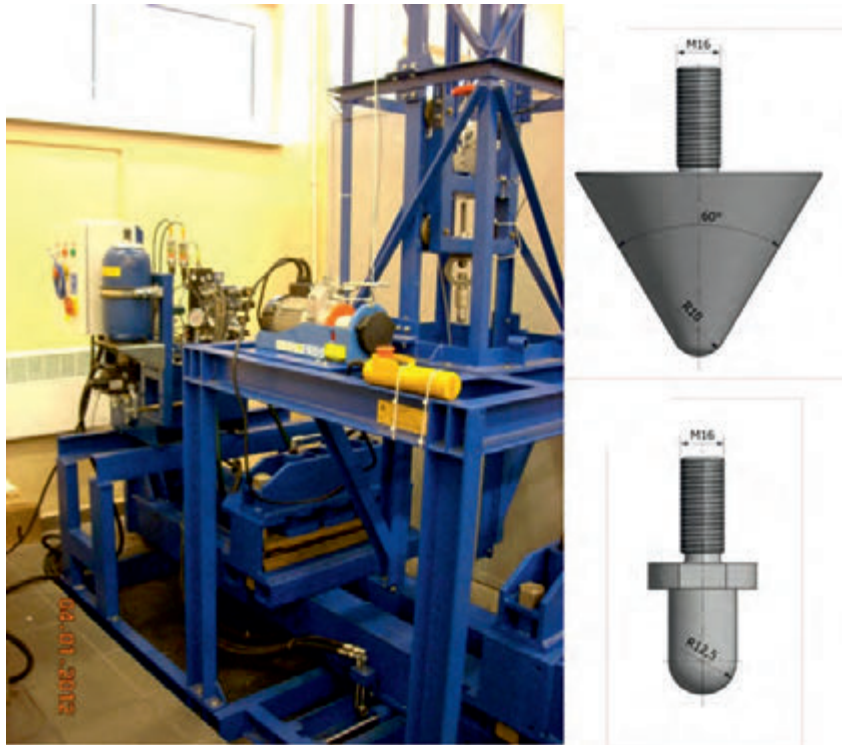
Stanowisko do badania odporności taśmy na przebijanie powinno zapewnić warunki obciążenia taśmy jak najbardziej

zbliżone do występujących na nadawach przenośników taśmowych. Na stanowisku zbudowanym w laboratorium LTT Politechniki Wrocławskiej taśma przenośnikowa mocowana jest w hydraulicznych szczękach pozwalających na jej napięcie równe 10% jej nominalnej wytrzymałości [7]. 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. Widok stanowiska badawczego i stosowanych bijaków stożkowego i kulistego pokazano na rysunku 5.

Stanowisko badawcze posiada układ pomiarowy do rejestracji przebiegu siły uderzenia bijaka w taśmę przenośnikową, układ pomiarowy siły napinania próbki i dalmierz laserowy



Rys 4. Przykład wyznaczania E_k i E_m dla taśmy ST 3150 14T+7T
 Fig. 4. Example of E_k and E_m determination for ST 3150 14T+7T belt



Rys.5. Stanowisko do badania odporności taśm na przebijanie

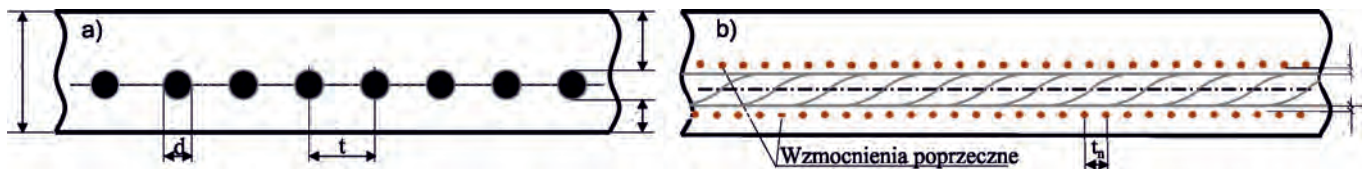
Fig. 5. The machine for the resistance test of conveyor belts for impact

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 kinetycznej energii traconej w czasie uderzenia bijaka w taśmę.

Wyniki badań

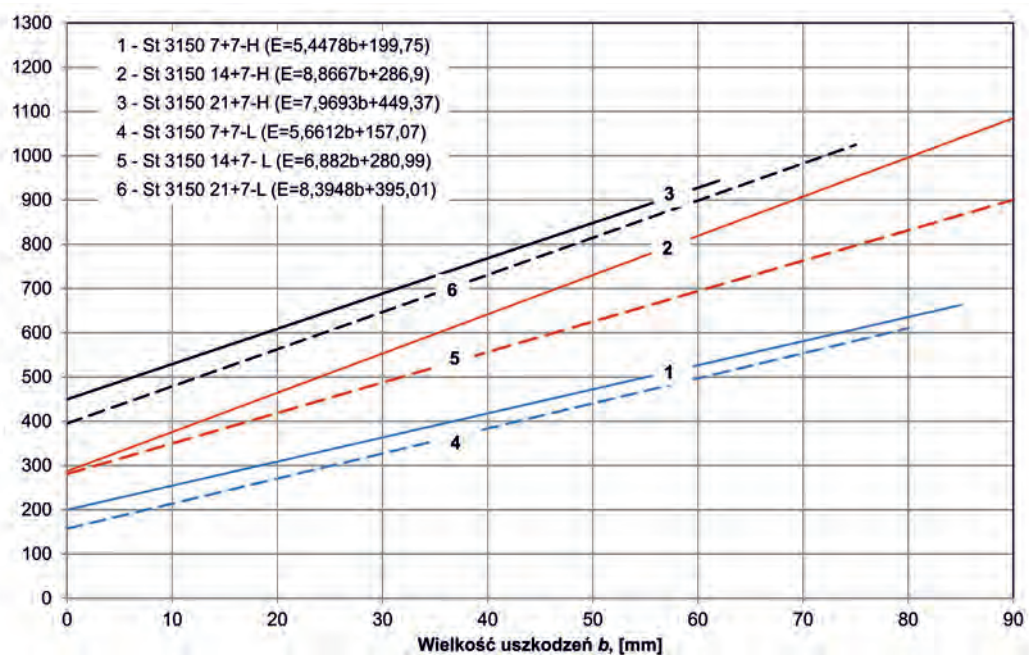
Badania przeprowadzono na taśmach typu ST3150 w następujących wykonaniach:

- Okładki gumowe taśm w klasie H i L. Grubość okładek



Rys. 6. Oznaczenia wymiarowe taśm: a) standardowej, b) ze wzmocnieniami poprzecznymi

Fig. 6. Dimensions of the tested belts: a) standard b) reinforced crosswise



Rys.7. Wyniki badań odporności na przebijanie taśm standardowych klasy H i L

Fig. 7. Results of puncture resistance testing of standard belts of cover rubber grade H and L

Tab. 1. Zestawienie wyników badań zależności energii średniej E_m i krytycznej E_k od grubości okładek
 Tab. 1. Results of measurements of the relationship between belt cover thickness and the energy E_m and E_k

| Grubość okładki nośnej S_2 , [mm] | Klasagumy | Energia [J] | | | |
|-------------------------------------|-----------|-------------|---------|-------|---------|
| | | E_m | średnia | E_k | średnia |
| 7 | L | 327 | 345 | 157 | 178 |
| | H | 363 | | 200 | |
| 14 | L | 487 | 520 | 281 | 284 |
| | H | 553 | | 287 | |
| 21 | L | 647 | 667 | 395 | 422 |
| | H | 688 | | 449 | |

Tab. 2. Zestawienie wyników badań zależności energii średniej E_m i krytycznej E_k od klasy gumy
 Tab. 2. Results of measurements of the relationship between the rubber grade and the energy E_m and E_k

| Klasa gumy okładkowej | Wytrzymałość gumy na rozciąganie R_g , [MPa] | Grubość okładki nośnej S_2 , [mm] | Energia [J] | | | |
|-----------------------|--|-------------------------------------|-------------|---------|-------|---------|
| | | | E_m | średnia | E_k | średnia |
| L | 17,3 | 7 | 327 | 487 | 157 | 278 |
| | | 14 | 487 | | 281 | |
| | | 21 | 647 | | 395 | |
| H | 24,0 | 7 | 363 | 535 | 200 | 312 |
| | | 14 | 553 | | 287 | |
| | | 21 | 688 | | 449 | |

nośnych $S_2=7,14$ i 21 mm a okładek bieżnych $S_3=7$ mm. Oznaczenia wymiarowe taśmy pokazano na rysunku 6a.

- Okładki gumowe taśm w klasie H zawierające wzmocnienia poprzeczne typu TG-13 i TG-24 oraz typu sznurkowego $\varnothing 2$ mm z podziałką t_n : 5mm, 10mm i 15 mm. Grubość okładek nośnych $S_2=14$ mm, bieżnych $S_3=7$ mm. Oznaczenia wymiarowe taśmy pokazano na rysunku 6b. Przedstawione wyniki badań uzyskano przy użyciu bijaka stożkowego.

Wyniki badań taśm standardowych z okładkami wykonanymi w klasie H i L przedstawiono na rysunku 7. Z wykresów przedstawionych na tym rysunku odczytano energię krytyczną E_k a z równań opisujących wykresy obliczono energię średnią E_m . Otrzymane wyniki zestawiono w tabelach 1 i 2. Na rysunku 8 na podstawie wyliczonych średnich wartości energii przedstawionych w tabeli 1 sporządzono wykresy zależności energii krytycznej E_k i średniej E_m od grubości okładki nośnej.

Zależności te opisane są następującymi równaniami:

$$E_k = (17,43 \cdot S_2 + 50,7), \text{ [J]} \quad (5)$$

$$E_m = (23,0 \cdot S_2 + 188,7), \text{ [J]} \quad (6)$$

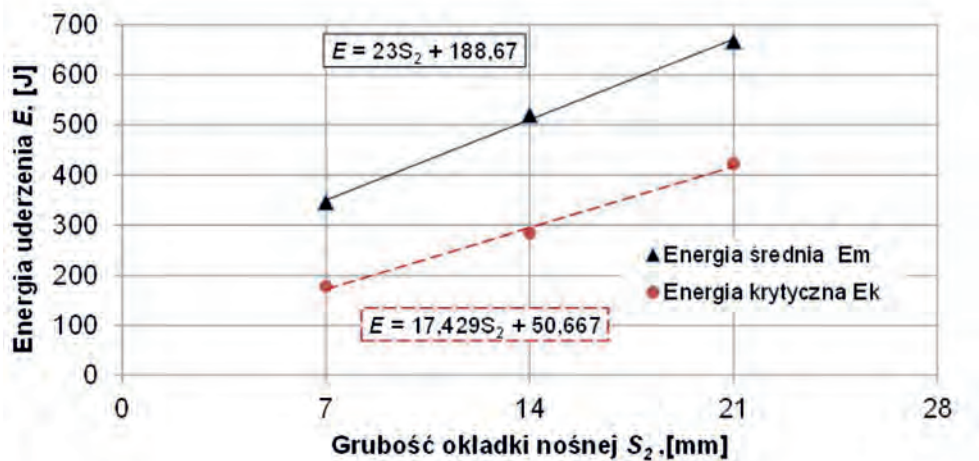
Na rysunku 9 na podstawie wyliczonych średnich wartości energii przedstawionych w tabeli 2 sporządzono wykresy zależności energii krytycznej E_k i średniej E_m od wytrzymałości na rozciąganie gumy okładek R_g [MPa]. Zależności te opisane są następującymi równaniami:

$$E_k = (5,07 \cdot R_g + 190,0), \text{ [J]} \quad (7)$$

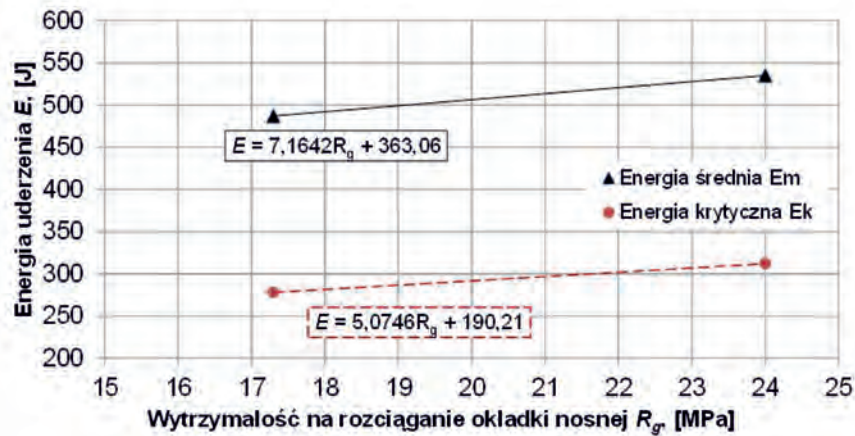
$$E_m = (7,16 \cdot R_g + 363,1), \text{ [J]} \quad (8)$$

Zakres stosowania tych zależności jest ograniczony do grubości okładki nośnej S_2 od 7 do 21 mm oraz wytrzymałości na rozciąganie gumy od 17 do 24 MPa.

Wyniki badań wpływu wzmocnień poprzecznych taśm na ich odporność na przebijanie przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 8. Zależność energii E_k i E_m od grubości okładki nośnej taśmy
 Fig. 8. The relationship between energy E_m , E_k and top cover thickness

Rys.9. Zależność energii E_k i E_m od wytrzymałości na rozciąganie gumy okładki nośnejFig. 9. The relationship between energy E_m , E_k and tensile strength of cover rubber

Usytuowanie wzmocnień poprzecznych było zgodne z normą EN ISO 15236-1. Wymiar S_4 wynosił od 1,0 do 1,5 mm. Dla porównania umieszczono na tym rysunku także wyniki badań taśmy bez wzmocnień poprzecznych.

Wyliczone na podstawie rysunku 10 wartości E_k i E_m zestawiono w tabeli 3. Wytrzymałość R_r dla wzmocnień sznurkowych obliczono z zależności $R_r = 2P/t_n$ gdzie P jest wytrzymałością sznurka na zerwanie. W przeprowadzonych badaniach $P=2000N$.

Wyniki zestawione w tabeli 3 przedstawiono na rysunku 11. Energia krytyczna uderzenia przy wzmocnieniach sznurkowych wynosi

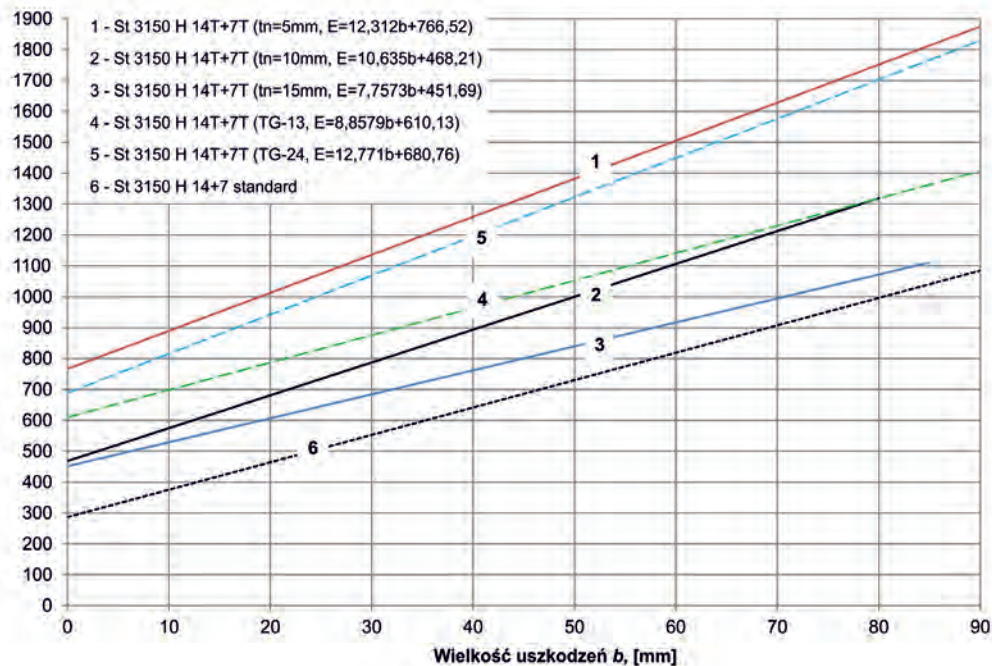
$$E_k = (0,59 \cdot R_r + 276,6), [J] \quad (9)$$

a przy wzmocnieniach przekładkowych

$$E_k = (0,86 \cdot R_r + 288,6), [J] \quad (10)$$

Energia średnia uderzenia przy wzmocnieniach sznurkowych wynosi

$$E_m = (0,74 \cdot R_r + 518,1), [J] \quad (11)$$



Rys. 10. Wyniki badań odporności na przebijanie taśm ze wzmocnieniami poprzecznymi

Fig. 10. Results of puncture resistance testing for belts with crosswise reinforcements

Tab. 3. Wyniki badań odporności na przebijanie taśm ze wzmocnieniami poprzecznymi

Tab.3. Results of puncture resistance testing of steel cord conveyor belts with crosswise reinforcements

| Rodzaj wzmocnienia poprzecznego | | Wytrzymałość wzmocnienia poprzecznego taśmy, R_r , [N/mm] | Energia [J] | |
|---------------------------------|---------|---|-------------|-------|
| | | | E_m | E_k |
| Szurkowe $\varnothing 2$, [mm] | tn = 5 | 800 | 1136 | 766 |
| | tn = 10 | 400 | 787 | 468 |
| | tn = 15 | 266 | 684 | 452 |
| Przekładkowe | TG-13 | 364 | 876 | 610 |
| | TG-24 | 462 | 1064 | 681 |
| Bez wzmocnienia | | 0 | 553 | 287 |

a przy wzmocnieniach przekładkowych
 $E_m = (1,05 \cdot R_r + 542,9)$, [J] (12)

Obecnie standardowo produkuje się taśmy typu ST 3150 14T+7T ze wzmocnieniami poprzecznymi typu sznurkowego $\varnothing 2$ z podziałką sznurków t_n rzędu 10 mm. Sznurki umieszczone są w odległości 2 mm od rdzenia taśmy. Przy takiej konstrukcji w okładce nośnej grubość gumy o właściwościach gumy okładkowej wynosi około 10 mm, a w okładce bieżnej około 3 mm. Grubość całkowita taśmy wynosi około 29 mm. Schemat konstrukcyjny taśmy pokazano na rysunku 12. Odporność taśmy na przebijanie wynosi: $E_k = 364$ J, $E_m = 774$ J.

Na rysunku 13 pokazano schemat konstrukcyjny taśmy o zwiększonej odporności na przebijanie.

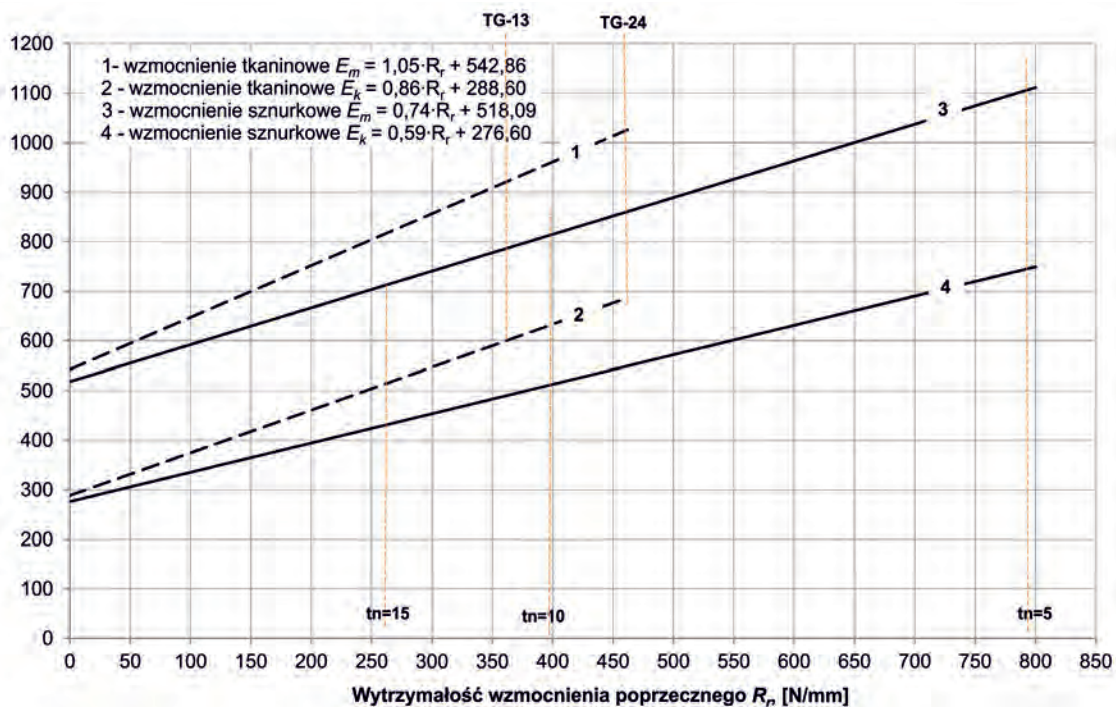
W przedstawionym rozwiązaniu

- okładka nośna ma grubość 16 mm, w tym 12 mm gumy okładkowej, czyli o 2 mm więcej niż w taśmie standardowej,

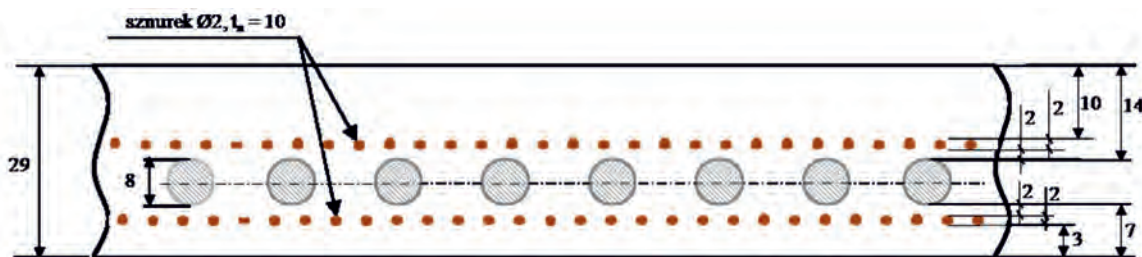
- okładka bieżna ma grubość 6 mm w tym 3 mm gumy okładkowej, czyli tyle samo co w taśmie standardowej,
- w okładce nośnej jako wzmocnienie poprzeczne umieszczono sznurki $\varnothing 2$ z $t_n = 7,5$ mm,
- w okładce bieżnej jako wzmocnienie poprzeczne umieszczono tkaninę TG-24 o grubości 1,4 mm,
- grubość całkowita taśmy wynosi 30 mm i jest o 1 mm większa od taśmy standardowej,
- okładki taśmy wykonano w klasie H.

Wyniki badania odporności na przebijanie taśmy ST 3150 16T+6T przedstawiono na rysunku 14. Krytyczna energia przebijania taśmy $E_k = 409$ J. Średnia energię przebijania $E_m = 1225$ J.

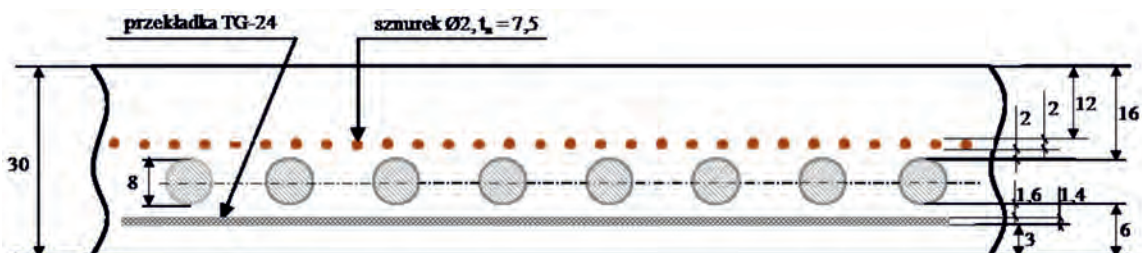
Uzyskane wyniki badań prototypowej taśmy zestawiono z wynikami badań taśmy w standardowym wykonaniu na rysunku 15.



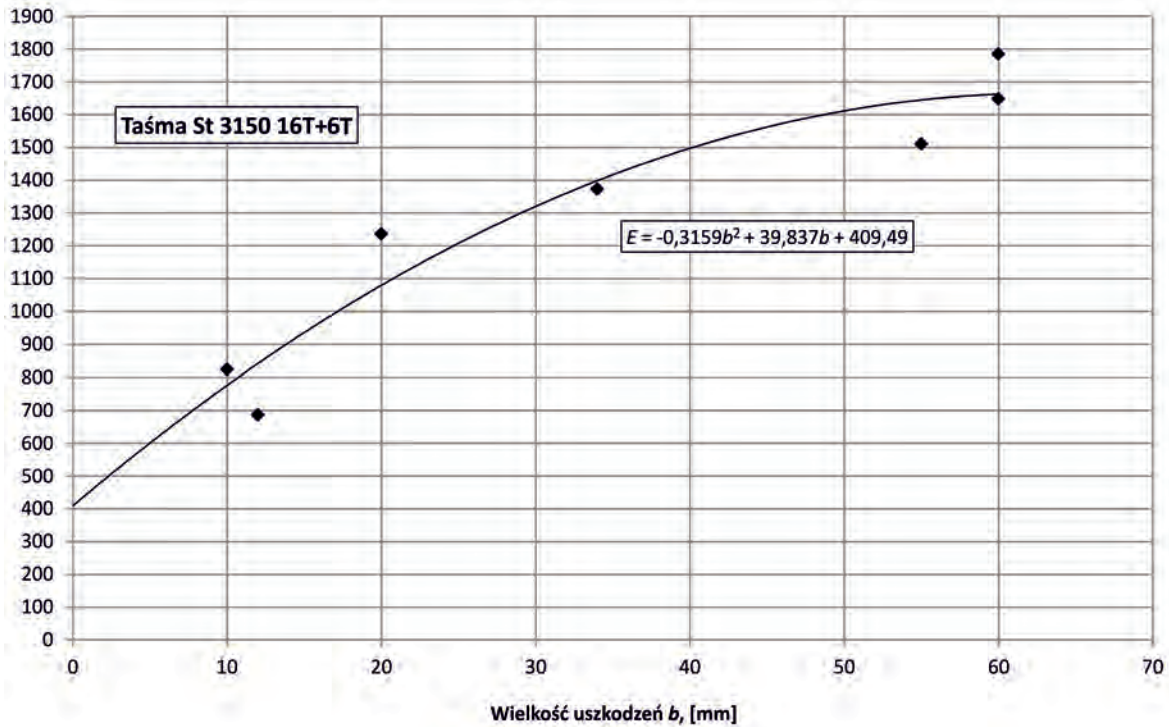
Rys. 11. Wyniki badań wpływu wytrzymałości wzmocnień poprzecznych na Energię E_k i E_m .
 Fig. 11. Results of measurements of the effect of tensile strength of reinforcements on the E_k and E_m



Rys.12. Konstrukcja standardowej taśmy ST 3150 14T+7T
 Fig. 12. Standard constructions of the conveyor belts ST 3150 14T + 7T



Rys.13. Konstrukcja taśmy ST 3150 16T+6T do wykonania prototypu o zwiększonej odporności na przebijanie
 Fig. 13. The construction of conveyor belts ST 3150 16T+6T for making prototypes of increased resistance to puncture

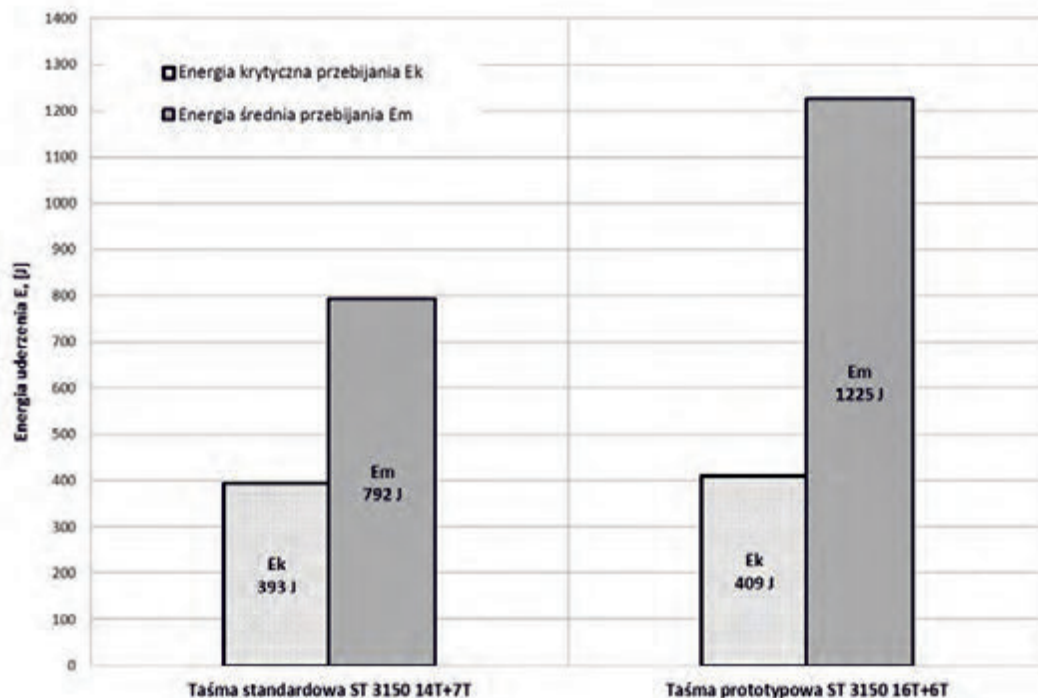


Rys.14. Wyniki badań odporności na przebijanie taśmy typu ST 3150 16T+6T
 Fig. 14. The research results of puncture resistance of conveyor belts ST 3150 16T + 6T

Prototypowa taśma przenośnikowa w porównaniu do taśmy w standardowym wykonaniu cechuje się wyższą o 55% odpornością na przebijanie mierzoną wskaźnikiem E_m .

Podsumowanie

1. Odporność taśm przenośnikowych na przebijanie ma istotny wpływ na trwałość eksploatacyjną taśm, zwłaszcza przy transporcie materiałów skalnych. Stosowane w
2. różnych ośrodkach badawczych metody badań tej właściwości, wobec braku przedmiotowych norm nie są jednokowe, w związku z czym wyniki tych badań nie zawsze dają się porównywać. Utrudnia to między innymi, jednoznaczną ocenę skuteczności stosowanych wzmocnień poprzecznych taśm.



Rys.15. Wyniki badań odporności na przebijanie taśmy ST 3150 standardowej i prototypowej
 Fig. 15. The research results of puncture resistance of standard and prototype conveyor belts ST 3150

- nieważ w niektórych przypadkach taśmy charakteryzujące się prawie identyczną wielkością 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.
3. Opracowana metoda wyznaczania energii krytycznej E_k za pomocą wykresu zależności wielkości uszkodzenia od energii uderzenia, zdefiniowana jako wielkość powyżej której w taśmie wystąpią uszkodzenia, pozwala na dokładniejsze wyznaczenie tej wielkości w porównaniu do metody według której określa się energię krytyczną na podstawie wystąpienia widocznego uszkodzenia taśmy.
 4. Przedstawiona nowa metoda wyznaczania odporności taśmy na przebijanie za pomocą pomiaru traconej energii kinetycznej 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 wyznaczania tą metodą energii krytycznej uderzenia. Wydaje się celowe prowadzenie dalszych badań w kierunku wykorzystania tej metody do oceny odporności taśm na uderzenia z energią większą od krytycznej.
 5. Na podstawie przeprowadzonych badań możliwe jest wstępne oszacowanie odporności na przebijanie taśm przenośnikowych ST 3150 dla założonych grubości okładek gumowych, wytrzymałości na rozciąganie gumy oraz rodzaju wzmocnień poprzecznych.

Literatura

- [1] Kwaśniewski J., *The use of monitoring to improve the reliability and endurance of continuous coal handling systems*. Archives of Mining Science no. 4, 2011
- [2] Grincowa A., Marasova D., *Experimental research and mathematical modelling as an effective tool of assessing failure of conveyor belts*. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability no. 2, 2014
- [3] Elvers K., Schnell W., Tonn H., *A universal, highly effective cross reinforcement system for conveyor belts*. Bulk Solid Handling no. 4, 1989
- [4] Flebbe H. & Hardygóra M., *Zur Beaufschlagungsfestigkeit von Fördergurten*. Braunkohle no 7, 1986
- [5] Palczak C., Komander H., *Taśmy przenośnikowe do transportu materiałów skalnych*. Cement Wapno, Gips nr 9, 1971
- [6] Sohnemann R., Heynhold J., Rickert K., *Ermittlung des Beaufschlagungs- und Schlitzwiderstandes von querarmiertem Stahlseilgurten*. Glückauf – Forschungeshefte no. 5, 1980
- [7] Komander H., Hardygóra M., Bajda M., Komander G., Lewandowicz P., *Conveyor belt with increased operational wear resistance designed especially for coal, copper or hard rock mining industry*. Grant NCBiR nr NR09-0003-10/2010, Politechnika Wrocławska, raport z badań nr LTT/21/13 (niepubl.), 2013
- [8] Komander H., Hardygóra M., Bajda M., Komander G., Lewandowicz P., *Metody oceny odporności taśm przenośnikowych na uszkodzenia powodowane dynamicznym działaniem mas skupionych*. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability nr 4, 2014