



G 841/1

Monika Hardygóra

BW-6

**Podstawy racjonalnego doboru parametrów
taśm przenośnikowych z uwzględnieniem warunków
eksploatacyjnych górniczych przenośników taśmowych**

Wrocław 1990



PRACE NAUKOWE POLITECHNIKI WROCLAWSKIEJ

Scientific Papers of the Institute of Mining
of the Technical University of Wrocław

No. 54

No. 54

Monographs

No. 24

1990

Monika HARDYGÓRA

Fundamentals for Rational Selection of Conveyor
Belts' Parameters Considering the Service Conditions
of Conveyor Belts in Mines

BW-6

Monika Hardygóra

**Podstawy racjonalnego doboru parametrów
taśm przenośnikowych z uwzględnieniem
warunków eksploatacyjnych górniczych
przenośników taśmowych**



Pracę wykonano w ramach Centralnego Programu Badań Podstawowych nr 02.05. Rozwój podstaw budowy, eksploatacji i badań maszyn roboczych ciężkich, w tym budowlanych

Recenzenci

Karol HÖFFL
Klaus STRZODKA

Redaktor naukowy

Jaroslawa SZWED-LORENZ

Opracowanie redakcyjne

Maria IZBICKA

Korekta

Małgorzata NAGAŃSKA-PILAK

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1990

WYDAWNICTWO POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

ISSN 0324-9689

Nakład 150 + 70 egz. Ark. wyd. 7,5. Ark. druk. 6¹/₈. Papier offset kl. III, 70 g, B1.
Oddano do druku w marcu 1990 r. Druk ukończono w kwietniu 1990 r.
Zakład Graficzny Politechniki Wrocławskiej. Zam. nr 443/90. Cena zł 1500,-

*Transport kopalniany,
przenośniki taśmowe, metody
doboru taśm przenośnikowych*

Monika HARDYGÓRA*

**PODSTAWY RACJONALNEGO DOBORU PARAMETRÓW
TAŚM PRZENOŚNIKOWYCH
Z UWZGLĘDNIENIEM WARUNKÓW EKSPLOATACYJNYCH
GÓRNICZYCH PRZENOŚNIKÓW TAŚMOWYCH**

Dotychczasowe metody doboru taśm przenośnikowych oparte jedynie na kryterium wytrzymałości wzdłużnej taśmy nie dają podstaw do racjonalnego jej doboru. Nie uwzględniają wpływu parametrów konstrukcyjnych i materiałowych taśm, konstrukcji przenośnika oraz parametrów transportowanego urobku na trwałość taśmy. Problem ten stał się szczególnie istotny od czasu zastosowania w górnictwie taśm o bardzo dużych wytrzymałościach, a zatem bardzo drogich, co zmusiło użytkowników do szukania metod racjonalnego ich doboru i zwiększenia ich trwałości na przenośniku. Wieloletnie badania własne trwałości taśm prowadzone przez autorkę w polskim górnictwie pozwoliły na zdefiniowanie podstaw do opracowania modelu symulacyjnego procesu powstawania uszkodzeń w taśmie podczas jej pracy na przenośniku. Do badań symulacyjnych konieczne było ustalenie zależności między energią spadających brył a powstającymi uszkodzeniami taśmy w różnych warunkach pracy. Wyniki kompleksowych badań taśm przy obciążeniach dynamicznych stanowią jeden z istotniejszych elementów bazy danych w modelu symulacyjnym. Opracowany model został przystosowany do warunków kopalni miedzi "Rudna", którą wybrano ze względu na panujące w niej wyjątkowo trudne warunki pracy taśmy. Na podstawie opracowanego modelu przeprowadzono serię badań symulacyjnych, które pokazały możliwości zastosowania opracowanego modelu do analizy doboru parametrów taśmy w warunkach eksploatacyjnych. Omówiono zalecenia odnośnie racjonalnego doboru taśm oraz kierunki dalszych badań.

* Instytut Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław.

1. WPROWADZENIE

1.1. Wstęp

Transport przenośnikami taśmowymi jest coraz powszechniej stosowanym rodzajem transportu zarówno w górnictwie odkrywkowym jak i w podziemnym. Dzięki swym zaletom konkuruje on z dużym powodzeniem z innymi rodzajami transportu kopalnianego takimi jak kolej czy wozy na podwoziu oponowym. W dzisiejszym górnictwie odkrywkowym węgla brunatnego najczęściej jest to jedyny najodpowiedniejszy i ekonomicznie uzasadniony rodzaj transportu współpracującego z maszynami podstawowymi o ruchu ciągłym. Również w górnictwie podziemnym węgla kamiennego czy rud miedzi coraz częściej spełnia on ważne zadania w oddziałach wydobywczych, głównych drogach transportu i na powierzchni kopalni w zakładach przerobczych. O skali zastosowania świadczy fakt, że tylko krajowe górnictwo węgla kamiennego ma 2,6 tys. km zainstalowanych taśm przenośnikowych. Ostatnio nawet w górnictwie surowców skalnych coraz częściej sięga się po rozwiązania problemów transportowych za pomocą przenośników taśmowych. Dotychczasowe ograniczenia w ich zastosowaniu są usuwane przez wprowadzanie w wyrobiskach kruszarek wstępnych stacjonarnych i przejezdnych. Tendencje rozwojowe transportu przenośnikami taśmowymi idą w kierunku zwiększania długości pojedynczych przenośników, wzrostu nachylenia trasy oraz rozwiązań w zakresie przenośników krzywoliniowych. Te tendencje związane są jednocześnie ze wzrostem mocy instalowanych jednostek napędowych a zatem większych sił przenoszonych przez taśmę. Stawia to wysokie wymagania najdroższemu elementowi przenośnika jakim jest taśma. Już w chwili obecnej pracują taśmy z linkami stalowymi o wytrzymałości 7500 kN/m, a taśmy tekstylne do wytrzymałości 4000 kN/m [20], [110]. Jednocześnie ze wzrostem wytrzymałości taśm rośnie również jej koszt wyprodukowania oraz instalowania na przenośniku, w związku z czym problemy trwałości taśm i odpowiedniego doboru ich parametrów do warunków eksploatacyjnych nabierają ciągle większego znaczenia.

1.2. Warunki pracy taśmy na przenośniku taśmowym

Taśma przenośnikowa podczas pracy na przenośniku poddawana jest działaniu wielu bardzo różnorodnych obciążeń deterministycznych i stochastycznych, które oddziałują na nią jednocześnie lub w zadanych okre-

sach czasu. Wśród najbardziej istotnych obciążeń możemy wyróżnić następujące grupy:

- jednoosiowe quasistatyczne naprężenia rozciągające w kierunku wzdłużnym taśmy, wynikające z niezbędnego napięcia taśmy do przeniesienia napędu,
- dwuosiowe quasistatyczne naprężenie rozciągające w kierunku wzdłużnym i poprzecznym taśmy wywołane układaniem się taśmy w nieckę oraz krzywoliniowym prowadzeniem taśmy,
- dynamiczne jednoosiowe obciążenie rozciągające taśmę podczas rozruchu i hamowania przenośnika oraz podczas zmiany obciążenia taśmy,
- quasistatyczne naprężenie zginające z jednoosiowym ściskaniem i ścinaniem przy przejściu taśmy przez bęben napędowy i napinający,
- wieloosiowe dynamiczne naprężenia ściskające i ścinające podczas przejścia taśmy przez krążniki,
- wieloosiowe naprężenia dynamiczne ściskające, ścinające i zginające występujące przy siłach uderowych w miejscu podawania urobku na przenośnik.

Wymienione grupy obciążeń taśmy, charakteryzujące warunki pracy taśmy na przenośniku, były przedmiotem wielu prac teoretycznych i eksperymentalnych prowadzonych od lat w krajach europejskich zwłaszcza w RFN, NRD i Polsce. W tej pracy nie będą one szerzej omawiane, podane zostaną jedynie najważniejsze opracowania na ten temat.

W grupie pierwszej zmierzającej do określenia sił wzdłużnych w taśmie z warunków Eytelweina przy znajomości oporów głównych i oporów dodatkowych na uwagę zasługują prace Vierlinga, Oehmena i Allesa [1], [2], [103], [131], [132].

Dwuosiowy stan naprężeń przy układaniu się taśmy tkaninowej w nieckę badań eksperymentalnie Grimmer [37], natomiast teoretyczne prace dotyczące taśm z linkami stalowymi w aspekcie dodatkowych wydłużeń prowadził Oehmen [105].

Kolejna grupa prac dotyczyła zjawisk zachodzących w taśmie podczas rozruchu i hamowania przenośnika. Z prac zagranicznych można wymienić prace Funke i Sannemanna [25], [116], natomiast w kraju zagadnieniami tymi zajmowali się szerzej Gładysiewicz, Karolewski, Markusik, Szymański i Żur [32], [75], [94].

Kombinowane naprężenia zginające, ściskające i ścinające w układkach bieżnych taśm tkaninowych i taśm z linkami stalowymi były obliczane i mierzone przez Grimmera, Gerbera i Hohmanna [26], [36], [68].

Problem zabezpieczenia taśm przed przebicciem był rozpatrywany między innymi przez Köttinga, Maiera, Quassa, Hardygóre, Gołosińską [44],

[50], [51], [80], [91], [111], [112]. Ze względu na znaczenie tych publikacji w niniejszej pracy literaturę tę omówiono szerzej w punkcie 4.1.

Dodatkowo należy zwrócić uwagę na dużą grupę prac dotyczących metod teoretycznych i eksperymentalnych określenia oporów ruchu przenośnika w zależności od rozstawu zestawów krążnikowych, napięcia wstępnego i konstrukcji taśmy. Są to prace van Leyena, Winterberga, Behrensa, Gładysiewiczza [130], [144], [11], [27], [30].

Wymienione w tym rozdziale prace stanowiły podstawę doskonalenia norm obliczeń przenośników taśmowych oraz opracowywania metod doboru taśm.

1.3. Analiza procesu powstawania uszkodzeń w taśmie przenośnikowej

Zdefiniowane w poprzednim rozdziale obciążenia działające na taśmę podczas jej pracy na przenośniku wywołują proces niszczenia taśmy. Uszkodzenia w taśmie mogą powstawać wzdłuż całej trasy przenośnika lub w określonych punktach, które ze względu na występowanie skomasowanego działania obciążeń są wyjątkowo niebezpieczne.

Charakterystykę uszkodzeń taśmy w różnych punktach przenośnika przedstawiono w tabeli 1.

T a b e l a 1

Charakterystyka uszkodzeń taśmy powstających na przenośniku

Element przenośnika	Rodzaj uszkodzeń
miejsce podawania urobku na taśmę	ścieranie okładki nośnej przecięcia okładek przebiecia taśmy przecięcia wzdłużne
stacja czołowa	ścieranie okładki bieżnej
trasa przenośnika	ścieranie okładek nośnej i bieżnej przecięcia okładek ścieranie obrzeży rozwarstwianie taśmy

Analizę tabeli 1 rozpoczniemy od miejsca podawania urobku na przenośnik. Z badań eksperymentalnych oraz z literatury [1], [83], [96], [117] [120], [136] wynika, że jest to najbardziej niebezpieczne miejsce na przenośniku, ponieważ powstaje tu średnio od 66% do 80% wszystkich uszkodzeń taśmy. Przystępując do jakościowej analizy uszkodzeń zajmujemy się procesem wywołującym ścieranie okładek nośnych. W miejscu podawania urobku na taśmę część mocy napędu zużywana jest na przyspieszenie poda-

nego urobku. Najczęściej przenośnik podający i odbierający jest usytuowany pod pewnym kątem, tak, że struga urobku wymaga zmiany kierunku i nadania jej przyspieszenia w nowym kierunku transportu. Strumień urobku zostaje przyspieszony do zadanej prędkości i wykonuje określoną pracę, która w znacznym stopniu przekazana jest na taśmę w postaci sił tarcia oddziałującego bezpośrednio na okładkę nośną taśmy. Przebieg ten powtarza się z częstotliwością obiegu odcinka taśmy, co oznacza, że dla przenośników krótkich o dużych prędkościach ścieranie okładek jest największe.

Badania eksperymentalne [1], [4], [7], [10], [125], [129], [147] prowadzone w różnych warunkach pracy stwierdzają ścieranie okładek nośnych od 0,4 do 4,0 mm przy 100.000 obiegów taśmy.

Kolejne typy uszkodzeń powstają w miejscu podawania urobku na taśmę (tab. 1) w wyniku uderzenia dużych ostrokrawędziastych brył transportowanego materiału. Energia uderzenia pojedynczej bryły urobku zależna od masy i wysokości spadku musi zostać zamieniona w energię odkształcenia, która może okazać się większa od zdolności pochłaniania energii przez taśmę i konstrukcję podpierającą i prowadzi do powstania uszkodzeń taśmy.

W wyniku działania sił udarowych w taśmie powstają różnorodne formy uszkodzeń od małych uszkodzeń typu rys w okładkach taśmy podobnych do ścierania, przez przecięcie okładek i przekładek aż do przebić taśmy na wylot, łącznie z uszkodzeniem przekładek lub linek stalowych. W dalszej konsekwencji mogą występować długie przecięcia taśmy, które prowadzą do poważnych zakłóceń pracy przenośnika.

Inny rodzaj uszkodzeń taśmy powodują duże ostrokrawędziste bryły urobku lub elementy metalowe, które zakleszczając się w miejscu przesypu powodują długie rozcięcia taśmy. Jest to szczególnie niebezpieczne dla taśm z linkami stalowymi pracujących na długich przenośnikach o dużych prędkościach, co ma miejsce w kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego. Nad sposobami wyeliminowania tego typu uszkodzeń pracowało wielu badaczy [4], [84], [98], [115], jednak bez większych sukcesów.

Kolejnym punktem analizy jest stacja czołowa, gdzie odbywa się współpraca okładki bieżnej taśmy z płaszczem bębna napędowego. Powstające uszkodzenia można analizować jako system tribologiczny zużywania się taśmy od strony okładek bieżnych przy współdziałaniu z płaszczyzną bębna napędowego. Dodatkowymi elementami może być urobek zanieczyszczający powierzchnię okładek lub bębna oraz warunki atmosferyczne. Wpływ tego typu uszkodzeń w ogólnym procesie niszczenia taśmy jest mały i w dalszych rozważaniach nie będzie uwzględniany. Może on być zniwelowany przez ograniczenie poślizgów na bębnie napędowym.

Ostatnim punktem analizy są uszkodzenia powstające wzdłuż trasy przenośnika, które jednak nie mają takiego znaczenia jak uszkodzenia w miejscu podawania urobku, jednak udział ich w ogólnym procesie uszkodzenia taśmy wzrasta wraz z długością przenośnika [4], [72], [84], [96], [136]. Uszkodzenie to wywołuje wiele tribologicznych procesów zachodzących między transportowanym urobkiem a taśmą. Zanalizujemy je kolejno: ścieranie okładek nośnych jest wynikiem tarcia urobku o okładki nośne podczas przejścia strugi materiału przez zestawy krążnikowe, co jest związane ze zmianą przekroju niecki. Aby zmniejszyć ilość tych uszkodzeń należy zmniejszyć rozstaw zestawów krążnikowych lub zwiększyć napięcie w taśmie. Duży zwis taśmy między zestawami krążnikowymi wywołuje duże zmiany przekroju poprzecznego taśmy i, co za tym idzie, duże odkształcenia strugi urobku pociągające za sobą wzrost ścierania okładek nośnych [27], [29], [30]. Przecięcia okładek nośnych aż do przebić taśmy włącznie są natomiast wywoływane przez duże bryły urobku podskakujące na taśmie podczas przejścia przez krążniki w momencie ponownego spotkania się z taśmą. Jak wykazują badania [137], już względnie mała prędkość taśmy powoduje niespokojny ruch brył podczas przejścia przez zestawy krążnikowe w wyniku zginania taśmy. Już prędkość 1,5 m/s prowadzi do podskakiwania brył na każdym krążniku. W wyniku dynamicznych przebiegów przesuwania linii zwisu podrzucanie brył jest jeszcze silniejsze. Uszkodzenia okładek bieżnych, które na trasie przenośnika są w kontakcie tylko z krążnikami podtrzymującymi taśmę, mogą wystąpić przy ciężko obracającym się krążniku lub przy zatartym krążniku. Również uszkodzony płaszcz krążnika może prowadzić do przecięcia i uszkodzenia okładek. Zanieczyszczone urobkiem krążniki zwiększają swoją średnicę, co prowadzi do zbiegania taśmy i dużych różnic prędkości, a w konsekwencji do nadmiernego wycierania okładek i obrzeży taśmy.

Innym typem uszkodzeń taśmy powstających na trasie przenośnika są rozwarstwienia międzyprzekładkowe. Uszkodzenia te występują w taśmach tekstylnych w wyniku zginania taśm na zestawach krążnikowych. Strefa rozwarstwienia występuje w największej krzywiznie zgięcia taśmy odpowiadającej linii przecięcia się krążnika środkowego z krążnikiem bocznym. Rozwarstwienia występują najczęściej w taśmach o dużych wytrzymałościach na rozciąganie, a zatem stosunkowo sztywnych [6], [54], [64], [66], [154].

1.4. Analiza trwałości taśm przenośnikowych w wybranych kopalniach odkrywkowych i podziemnych

Po analizie obciążeń działających na taśmę oraz po rozważaniach na temat procesu powstawania uszkodzeń w taśmie konieczne stało się empi-

ryczne wyznaczenie najistotniejszych czynników wywołujących proces zużycia się taśmy w czasie eksploatacji. Do tego celu wykorzystano badania trwałości taśm w polskich kopalniach odkrywkowych i podziemnych prowadzone w Instytucie Górnictwa PWr. od wielu lat [71], [74], [126], [138]. Spośród kopalń odkrywkowych wybrano do badań KWB "Bełchatów" i KWB "Konin", gdzie pracują najdłuższe ciągi przenośników taśmowych oraz gdzie od wielu lat prowadzi się rzetelną dokumentację wymiany odcinków taśm. Z kopalń podziemnych wybrano największą kopalnię rudy miedzi ZG "Rudna", gdzie stosuje się wyłącznie transport przenośnikami taśmowymi, w której warunki pracy taśm są wyjątkowo trudne, oraz w której również skrupulatnie prowadzona jest dokumentacja gospodarki taśmami. W kopalniach odkrywkowych analizowano taśmy z linkami stalowymi typu St 3150 natomiast w kopalni rud miedzi taśmy tekstylne typu TPwz.

Badania trwałości przeprowadzono w kopalni Konin na 29 przenośnikach, a w kopalni Bełchatów na 24 przenośnikach najdłużej pracujących. Informacje statystyczne o wymianach taśm na poszczególnych przenośnikach oraz o ich przyczynach zaczerpnięto z zapisów w książkach wymian prowadzonych przez służby taśmowe kopalni. Analizą objęto okres pracy przenośników od 1977 do 1983 roku w kopalni "Bełchatów" oraz od 1974 do 1984 roku w kopalni "Konin". Przenośniki miały długość od 260 do 1729 m, prędkość taśmy 5,24 i 5,75 m/s, szerokości taśm 1,6, 1,8 lub 2,25 m. Na wszystkich przenośnikach zainstalowane są zestawy trójkrażnikowe przegubowe, a w punktach przesypu zestawy przegubowe pięciokrażnikowe z płaszczem stalowym.

W kopalni rud miedzi "Rudna" badano taśmy pracujące na trzech typach przenośników: Gwarek, Legmet i Poltegor o szerokościach taśmy odpowiednio 1000, 1200 i 1400 mm i długości od 30 do 1370 m, prędkości taśmy 2,15, 2,5 i 2,9 m/s.

Analiza obejmowała okres pracy przenośników w latach 1983-1985 i była prowadzona przez autorkę niniejszej pracy wraz z dyplomantami [71], [126].

Zebrane w kopalniach dane poddano analizie za pomocą maszyny cyfrowej. W tym celu opracowano specjalny program "Trwałość" [73] umożliwiający wielopoziomową analizę trwałości taśm różnych producentów, różnych konstrukcji instalowanych na przenośnikach o różnej długości. Program analizował między innymi przyczyny zdjęcia taśmy z przenośnika. Wyniki badań trwałości taśm w wybranych kopalniach przedstawiono w tabeli 2.

Otrzymane wyniki badań pozwalają na stwierdzenie, że głównym powodem zdjęcia taśmy z przenośnika, niezależnie od jej typu, jest zużycie naturalne. Drugim powodem w grupie taśm tkaninowych jest rozwarstwianie się przekładek, a w taśmach z linkami stalowymi przecięcia wzdłużne. O ile problem przecięć wzdłużnych występował znacząco tylko w jednej z

T a b e l a 2

Trwałość taśm przenośnikowych

Kopalnia	Odkrywka	Taśmy zdjęte z przenośników ogółem	Ilość zdjętych taśm w wyniku			
			zużycia naturalnego	przecięcia wzdłużnego	wyrwania linek, rozwarstwienia taśmy	innych przyczyn
		m	m/%	m/%	m/%	m/%
KWB "Bełchatów"	Bełchatów	24.000	$\frac{15.470}{64,5}$	$\frac{7.340}{30,7}$	$\frac{1.060}{4,3}$	$\frac{130}{0,5}$
KWB "Konin"	Józwin	100.000	$\frac{89.904}{89,52}$	$\frac{6.669}{6,6}$	$\frac{3.803}{3,8}$	$\frac{80}{0,08}$
KWB "Konin"	Pątnów	55.519	$\frac{51.440}{91,7}$	$\frac{3.014}{6,4}$	$\frac{1.065}{1,9}$	-
ZG "Rudna"	-	35.425	$\frac{18.686}{52,75}$	$\frac{2.205}{6,25}$	$\frac{8.740}{24,67}$	$\frac{5.500}{15,5}$

trzech odkrywek ("Bełchatów"), o tyle rozwarstwianie się taśm tekstylnych jest bardzo powszechne i występuje również w kopalniach odkrywkowych eksploatujących taśmy tekstylne (KWB "Turów" i KWB "Adamów").

Podstawową więc trudnością przy ocenie trwałości taśm jest zużycie naturalne, na które składają się kolejne typy uszkodzeń:

- ścieranie okładek taśmy,
- przebiccia,
- ścieranie obrzeży,
- wpływ karbu,
- przecięcia miejscowe okładek.

Ciekawe wydaje się porównanie wyników badań dotyczących przyczyn uszkodzeń taśm w krajowych kopalniach z wynikami światowymi. Z prac Lachmanna [82]-[84] prowadzonych w Zagłębiu Węgla Brunatnego "Reinbraun" (RFN) wynika, że taśmy z linkami stalowymi zdejmowane są z przenośnika z powodu wymienionych uszkodzeń w 87%, natomiast taśmy tekstylne w 83%. Wyniki krajowe dla odkrywek "Józwin" i "Pątnów" wykazują z nimi dużą zbieżność (nieznacznie nawet przewyższają) natomiast kopalnie "Bełchatów" i "Rudna" mają znacznie gorsze wyniki, na co wpłynęły w Bełchatowie przecięcia wzdłużne, a w kopalni "Rudna" rozwarstwienia taśm, które powinny być sukcesywnie eliminowane.

1.5. Analiza stosowanych metod doboru taśm przenośnikowych

Do rozwiązania problemu racjonalnego doboru taśm do warunków eksploatacyjnych konieczna jest znajomość warunków pracy taśmy na przenośniku oraz przyczyny jej niszczenia. Niezbędna wydaje się również znajomość obowiązujących metod doboru taśm, ich rozwoju i podstaw, których analiza może pomóc w wytyczeniu nowych kierunków badań. Zagadnieniom tym poświęcono ten rozdział pracy.

Metody doboru taśm opracowywane były stopniowo, w miarę wprowadzania do produkcji nowych typów taśm o coraz wyższej wytrzymałości, wraz z rosnącymi wymaganiami odnośnie możliwie pełnego wykorzystania ich wytrzymałości. Początkowo w Polsce taśmy dobierano na podstawie niemieckiej normy DIN 22101 z 1942 r., w której jako podstawę do obliczeń przyjęto maksymalną siłę rozciągającą występującą w taśmie w ruchu ustalonym oraz nominalną wytrzymałość przekładki. Wpływ wszystkich pozostałych czynników uwzględniał wysoki współczynnik bezpieczeństwa zależny od liczby przekładek (w granicach 11-13). W zastosowaniu do taśm bawełnianych dobór ten nie budził większych wątpliwości, gdy jednak weszły w użycie taśmy o przekładkach z tworzyw sztucznych i siły przenoszone

przez taśmę wielokrotnie przewyższały wartości dopuszczalne dla taśm bawełnianych oraz zastosowano w napędach silniki asynchroniczne pierścieniowe, norma DIN 22101 z 1942 r. stała się zbyt mało precyzyjna. Głównym problemem okazały się straty wytrzymałości na złączach, co wynikało z ograniczenia liczby przekładek praktycznie do 6 przy stosunkowo dużych obciążeniach przenoszonych przez przekładkę.

Projekt zmienionej normy DIN 22101 uwzględnił ten wpływ i wprowadził następującą zależność na obliczanie liczby przekładek z tworzyw sztucznych:

$$z = \frac{T_1 \cdot 1,4 \text{ s}}{B \cdot K_z} + 1, \quad (1)$$

gdzie: T_1 - maksymalna siła napięcia w taśmie, kG,

B - szerokość taśmy, cm,

K_z - wytrzymałość obliczeniowa jednej przekładki, kG/cm,

s - współczynnik bezpieczeństwa.

Stosując w obliczeniach tą zależność należy przyjmować współczynnik s nie mniejszy niż 10, a moment rozruchowy powinien być ograniczony do 1,4-krotności maksymalnej siły napięcia w taśmie. Również w pracach krajowych starano się opracować precyzyjniejsze metody doboru wytrzymałości taśmy. Ścięgosz [127] uwzględnił także naprężenia powstające w przekładkach w wyniku zginania taśmy na bębnie. Na podstawie wykresu rozciągania przy jednorazowym obciążeniu próbki do momentu zerwania założył liniowy przebieg zmian naprężeń na odcinku odpowiadającym normalnym warunkom pracy. Przy tym założeniu Ścięgosz otrzymał zależność na liczbę przekładek w postaci:

$$z = \frac{T \cdot S_r}{B \left(K_z - 0,84 \frac{E_p d}{b} S_r \right)}, \quad (2)$$

gdzie: T - maksymalne napięcie w taśmie, kG,

E_p - moduł elastyczności (sprężystości) przekładkowej odczytywany z wykresów wydłużenia w zależności od naprężenia średniego, kG/cm,

b - stosunek średnicy bębna napędowego do liczby przekładek w taśmie,

d - grubość jednej przekładki po zawulkanizowaniu w taśmie, cm,

B - szerokość taśmy, cm,

S_r - współczynnik pewności obejmujący osłabienie przekroju w miejscu łączenia, nierównomierne obciążenie przekładek oraz współczynnik bezpieczeństwa.

Omówione metody doboru taśm przenośnikowych odpowiadały obowiązującym w kraju normom, według których liczbę przekładek w taśmie obliczano na podstawie nominalnej wytrzymałości przekładki. Wprowadzenie zalecenia ISO R-283-1962, na podstawie którego za miarodajną dla doboru taśmy uznaje się wytrzymałość taśmy jako całości, wymagało odmiennego podejścia do obliczeń od dotychczas stosowanych w praktyce projektowej. Zgodnie z tym zaleceniem wytrzymałość taśm tkaninowych dobierano na podstawie zależności

$$K_n = \frac{k'_e S_{\max r}}{B}, \quad (3)$$

gdzie: $S_{\max r}$ - maksymalna siła w taśmie w czasie rozruchu, N,
 k'_e - współczynnik bezpieczeństwa.

Zgodnie z przedstawioną metodą, taśmę traktuje się jako całość i jednocześnie eliminuje jeden z czynników mający wpływ na rzeczywistą wytrzymałość taśmy, mianowicie zmienność własności przekładek. Zakłada się, z dużym uproszczeniem, że osłabienie taśmy w złączu występuje tylko na skutek przecięcia przekładek (nie uwzględniając przy tym powiązań między przekładkami). Tym zagadnieniem zajęła się autorka niniejszej pracy w swojej rozprawie doktorskiej [40]. Po teoretycznej analizie zagadnienia potwierdzonej badaniami eksperymentalnymi zaproponowała uściślenie metody przez uwzględnienie współczynnika spiętrzenia naprężeń wyrażonego zależnością:

$$k_b = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_0}, \quad (4)$$

gdzie: σ_{\max} - maksymalny przyrost naprężeń w przekładce wywołanych przecięciem jednej z przekładek,
 σ_0 - naprężenie średnie występujące w przekładkach poza strefą zaburzoną.

Uwzględniając wprowadzony współczynnik spiętrzenia naprężeń zależny również od jakości produkowanych taśm, autorka niniejszej pracy zaproponowała w swojej rozprawie doktorskiej dobór wytrzymałości taśm wg zależności:

$$K_n = \frac{k_e S_{\max r} k_b}{B}, \quad N/m, \quad (5)$$

gdzie: k_e - współczynnik bezpieczeństwa,
 $S_{\max r}$ - maksymalna siła w taśmie w czasie rozruchu, N.

Należy tu zaznaczyć, że metoda ta jest zalecana przez Żura [150] jako mająca zastosowanie przy doborze taśm tkaninowych. Jest to pierwsza metoda opracowana przed najnowszą normą DIN 22101 [101] uwzględniająca spiętrzenie naprężeń w złączu oraz jakość produkowanych taśm. Oprócz wprowadzanych w górnictwie taśm tekstylnych o dużej wytrzymałości, coraz większe zastosowanie znajdują taśmy z linkami stalowymi. Również te taśmy, które są obecnie powszechnie używane w kopalniach węgla brunatnego wymagały opracowania metod ich doboru. Ogólnie stosowana jest następująca zależność na obliczanie wytrzymałości taśm z linkami stalowymi:

$$K_n = \frac{S_{\max} r k_e}{B}, \quad \text{N/mm}, \quad (6)$$

gdzie: k_e - współczynnik bezpieczeństwa przyjmowany dla taśm do wytrzymałości 3150 w wysokości 5,5, powyżej tej wytrzymałości $k_e = 6,0$.

Najnowsza norma DIN 22101 z 1982 r. [101] podaje dobór wytrzymałości taśmy uwzględniając następujące czynniki:

- spadek wytrzymałości taśmy w złączu r_{verb} ,
- najwyższe obciążenie taśmy k_{sta} w ruchu stacjonarnym i odpowiadający temu współczynnik bezpieczeństwa S_{sta} ,
- najwyższe obciążenie taśmy w ruchu nieustalonym k_{insta} i odpowiadający temu stanowi współczynnik bezpieczeństwa S_{insta} .

Dobierana wytrzymałość taśmy musi spełniać następujące zależności:

$$k_N \geq \frac{k_{\text{sta}}}{1-r_{\text{verb}}} S_{\text{sta}}, \quad (7)$$

$$k_N \geq \frac{k_{\text{insta}}}{1-r_{\text{verb}}} S_{\text{insta}}. \quad (8)$$

Spadek wytrzymałości r_{verb} przyjmowany jest z tabeli na podstawie wartości obliczonych przy obciążeniach statycznych. Natomiast współczynniki bezpieczeństwa S_{sta} i S_{insta} oblicza się z zależności:

$$S_{\text{sta}} = \frac{1}{1 - (r_0 + r_1 + r_2)}, \quad (9)$$

$$S_{\text{insta}} = \frac{1}{1 - (r_0 + r_1)}, \quad (10)$$

- gdzie: r_0 - uwzględnia spadek wytrzymałości w czasie oraz wpływ obciążeń dynamicznych,
- r_1 - uwzględnia wpływ dodatkowych wydłużeń taśmy podczas przejścia przez bębny, układania się w nieckę i odwracania taśmy,
- r_2 - uwzględnia obciążenie szczytowe taśmy przy rozruchu lub hamowaniu.

Na uwagę zasługuje fakt, że przedstawiona norma DIN 22101 [101] jest pierwszą normą, która oprócz doboru wytrzymałości taśmy uwzględnia jeszcze zalecenia co do doboru grubości okładek. Proponowane w niej wartości grubości okładek przyjęte są na podstawie doświadczeń i zależą od takich czynników jak:

- warunki załadowania,
- częstość ładowania,
- gęstość urobku,
- ścieralność gumy okładkowej,
- wielkość transportowanych brył.

Wpływ tych czynników ujmuje punktowa skala, jednak co do precyzyjności tych obliczeń można mieć spore zastrzeżenia.

1.5.1. Ocena metod doboru taśm przenośnikowych

Z wyjątkiem normy DIN 22101 przedstawione metody doboru taśm przenośnikowych oparte są wyłącznie na kryterium wytrzymałości na rozciąganie taśmy. Jest to bez wątpienia parametr podstawowy i niezbędny do prawidłowej pracy przenośnika. Zabezpiecza taśmę przed obciążeniem zbyt dużymi siłami mogącymi spowodować jej zerwanie lub inne awarie. Metody doboru odpowiedniej wytrzymałości taśm rozwijane i uściślane od lat można uznać za zadowalające, czego potwierdzeniem jest fakt nie występowania w kopalniach wypadków zerwania taśmy w caliźnie lub jej naderwania. Kryterium to wydaje się jednak niewystarczające, gdyż nie uwzględnia parametrów geometrycznych, materiałowych i konstrukcyjnych taśm, mających znaczny wpływ na czas pracy taśmy na przenośniku. Problem ten stał się bardzo aktualny w ostatnich latach wraz z rozwojem produkcji drogiej, wysokowytrzymałych taśm zarówno z linkami stalowymi, jak i aramidowych taśm tekstylnych [20], [45], [10], [115], [123], [153]. Dąży się do lepszego wykorzystania wytrzymałości taśm oraz podniesienia ich trwałości na przenośnikach. W tych kierunkach prowadzone są prace w czołowych ośrodkach europejskich. Pierwszy kierunek to badania zmęczeniowe taśm oraz ich połączeń [2], [22], [23], [24], [38], [115] w celu określenia spadku wytrzymałości połączeń taśm w procesie wielokrotnego przeginania i zmęcze-

niowego obciążania. Prace te prowadzą do uściślenia przyjmowanych dotychczas wysokich współczynników bezpieczeństwa, które obecnie obejmują spory poziom niewiedzy. Drugi kierunek prac badawczych to zagadnienia trwałości taśm i doboru optymalnych parametrów taśm oraz konstrukcji tych elementów i zespołów przenośnika, które wpływają na trwałość taśmy [1], [4], [7], [8], [9], [10], [15], [21], [22], [39], [41], [42], [52], [61], [73], [82], [83], [87], [88], [91], [97], [136], [149]. Pomimo wielu prac poświęconych temu zagadnieniu nie ma opracowanych podstaw doboru parametrów taśm do warunków eksploatacyjnych przenośnika. Stosowane metody doboru taśm nie obejmują tego zagadnienia. Problem ten jest bardzo złożony i wymaga poznania wielu czynników wpływających na proces zużywania się taśmy podczas pracy na przenośniku. Jest on tematem zasadniczej części niniejszej rozprawy.

2. CEL I ZAKRES PRACY

Racjonalny dobór parametrów konstrukcyjnych, geometrycznych czy materiałowych taśm przenośnikowych do zdefiniowanych warunków eksploatacyjnych gwarantuje osiągnięcie maksymalnej trwałości taśmy na danym przenośniku. Dobór parametrów będzie racjonalny wtedy, gdy potrafimy w sposób miarodajny i szybki przeanalizować wpływ dobieranych parametrów na oczekiwaną trwałość taśmy na przenośniku przed jej zainstalowaniem. Zadanie to nie może być zrealizowane obowiązującymi metodami doboru taśm (pkt 1.5), można je natomiast rozwiązać metodami symulacyjnymi. W tym celu konieczne jest zamodelowanie procesu powstawania uszkodzeń w taśmie, które umożliwi nam analizowanie poziomów zniszczenia taśmy w funkcji czasu jej pracy na przenośniku aż do momentu z góry założonego poziomu uszkodzeń, w którym taśma musi być zdjęta z przenośnika i przekazana do regeneracji. Taki model symulacyjny opracowano w niniejszej pracy. Umożliwia on analizowanie aktualnego stanu taśmy w dowolnym cyklu pracy na przenośniku.

Stan taśmy w czasie pracy na przenośniku zależy od czynników, z których wielu nie potrafimy ująć w sposób precyzyjny. Wieloletnie badania trwałości taśm prowadzone w krajowym górnictwie oraz prace zagranicznych badaczy wykazały jednak, że mimo całej losowości procesu niszczenia taśmy na przenośniku można wskazać pewne prawidłowości i określić grupy parametrów mających decydujący wpływ na ten proces.

Za pomocą dotychczasowych doświadczeń określono grupy parametrów mających zasadniczy wpływ na proces niszczenia taśmy:

- własności taśmy i jej parametry konstrukcyjne i materiałowe,
- własności fizyko mechaniczne transportowanego urobku,
- rozwiązanie konstrukcyjne punktów podawania urobku na taśmę,
- parametry eksploatacyjne przenośnika taśmowego.

Określenie wpływu wymienionych czynników na proces niszczenia taśmy było celem przedstawionych w pracy badań eksperymentalnych. Wyniki tych badań stanowią bazę danych w zbudowanym modelu symulacyjnym i były wykorzystane przy prowadzeniu obliczeń symulacyjnych. W modelu wykorzystano również badania prowadzone w ośrodkach krajowych i zagranicznych, których wyniki wpłynęły na uściślenie modelu.

W dalszej części pracy przedstawiono weryfikację modelu symulacyjnego dla wybranych przenośników taśmowych w górnictwie rud miedzi. Dokonano serii obliczeń symulacyjnych mających na celu określenie wpływu parametrów taśmy, materiału transportowanego oraz konstrukcji przenośnika na oczekiwaną trwałość taśm. Końcowa część pracy zawiera wnioski i zalecenia dotyczące doboru parametrów taśm oraz wskazuje dalsze kierunki prac w tym zakresie.

3. MODEL PROCESU POWSTAWANIA USZKODZEŃ W TAŚMIE PRZENOŚNIKOWEJ

3.1. Założenia modelu

Po przeanalizowaniu procesu zużywania się taśm przenośnikowych model symulacyjny oparto na następujących założeniach i przybliżeniach:

1. Uszkodzenia powstają w taśmie przenośnikowej w wyniku ścierania okładek i obrzeży oraz przebić.
2. Na stan taśmy w następnej chwili ma wpływ jedynie stan obecny i spadający urobek, tzn. proces niszczenia taśmy jest procesem Markowa.
3. Podstawowym parametrem decydującym o powstaniu uszkodzeń w taśmie w miejscu nadawy jest energia spadających brył.
4. Rozkład energii strugi urobku uzyskuje się na podstawie krzywej składu ziarnowego uwzględniając zmiany natężenia strugi urobku w czasie oraz przeczesne obciążenie taśmy urobkiem.
5. Zmiany natężenia urobku w czasie uwzględnia się przez wprowadzenie współczynnika załadowania przenośnika urobkiem, co wpływa na ilość generowanych brył dużych w strudze urobku.

6. Poprzeczne obciążenie taśmy można opisać jednym z trzech następujących przypadków rozkładu:

- a) płaski odcinek taśmy spoczywający na krążnikach poziomych jest równomiernie obciążony urobkiem i dla tego odcinka przyjęto, że trafienie bryły jest zdarzeniem pewnym, natomiast odcinki taśmy podparte krążnikami bocznymi mają normalny rozkład prawdopodobieństwa trafienia bryły dla pól jednakowo odległych od brzegu taśmy,
- b) płaski odcinek taśmy jak w punkcie a), natomiast odcinki podparte krążnikami bocznymi obciążone według rozkładu trójkątnego,
- c) płaski odcinek taśmy został dodatkowo podzielony na pas środkowy, w którym trafienie jest pewne i dwa pasy boczne o malejącym liniowo ku brzegom prawdopodobieństwie trafienia, odcinki podparte krążnikami bocznymi przyjęto jak w punkcie b).

7. Wartość energii bryły powodującej uszkodzenie taśmy zależy od:

- typu taśmy,
- parametrów konstrukcyjnych i materiałowych taśmy,
- aktualnej grubości okładek,
- rodzaju podparcia taśmy w miejscu spadku bryły,
- krzywizny krawędzi spadających brył.

8. Wielkość uszkodzenia taśmy jest funkcją:

- odporności taśmy na przebicie,
- aktualnego stanu taśmy zapamiętywanego w modelu,
- sposobu uderzenia,
- energii bryły.

3.2. Opis modelu

Model procesu niszczenia taśmy przenośnikowej zbudowany jest tak, aby był uniwersalny. Poszczególne jego części można zmieniać lub udoskonalać w zależności od zmiany warunków i stanu wiedzy. Jest to pierwsza próba wykorzystania metod symulacji do prognozowania stopnia zużycia taśmy przenośnikowej. W modelu wykorzystano wyniki badań empirycznych krajowych i zagranicznych ośrodków, lecz z konieczności wprowadzono wiele upraszczających założeń.

Podczas budowy modelu na obecnym etapie wiedzy skoncentrowano się tylko na uszkodzeniach powstających w taśmie w miejscu podawania urobku na przenośnik. Uszkodzenia te, przeanalizowane w punktach 1.3 i 1.4 niniejszej pracy, stanowią zdecydowaną większość uszkodzeń powstających w taśmie podczas jej pracy na przenośniku. Z innych rodzajów uszkodzeń

powstających na trasie przenośnika w modelu uwzględniono ścieranie okładek taśmy. Jest również możliwość zbadania na modelu uszkodzeń typu rozwarstwień w taśmach tekstylnych w wyniku procesu zginania, czego jednak nie włączono do niniejszej pracy.

Z pętli taśmy pracującej na przenośniku wybierany jest do badania dowolny odcinek taśmy o pełnej szerokości i dowolnej długości. Oczywiście długość odcinka znacznie wpływa na czas obliczeń i zależy od możliwości komputera. W badaniach przyjmowano długość od 1 do 4 m taśmy. Na ten wydzielony odcinek taśmy działają obciążenia dynamiczne spadającej strugi urobku. Obciążenia te działają cyklicznie w momentach, gdy odcinek znajduje się w miejscu podawania urobku na taśmę. Spadająca struga urobku wywołuje w taśmie szereg uszkodzeń, takich jak przecięcia okładek, przebiccia okładek czy rdzenia oraz przecięcia wzdłużne. Podstawowym parametrem decydującym o powstawaniu uszkodzeń w taśmie jest energia uderzenia (kinetyczna) spadającego strumienia brył urobku. Jeśli się zna parametry konstrukcyjne przenośnika, między innymi wysokość spadku strugi urobku oraz parametry transportowanego materiału takie jak gęstość, skład ziarnowy oraz maksymalne napięcie strugi urobku związane z wydajnością przenośnika, to generowanie energii uderzenia sprowadza się do generowania objętości spadających brył. Ponieważ w dostępnych pracach brak jest wyników badań rozkładów objętości brył, wykorzystano w modelu znane i stosowane krzywe składu ziarnowego określające ilościowy udział ziarn o danej średnicy w odpowiedniej klasie. Istnieją opracowania [92] podające matematyczne modele krzywych składu ziarnowego, w praktyce jednak wybór ogranicza się do jednego z czterech najbardziej popularnych. Są to rozkłady: potęgowy, normalny, normalno-logarytmiczny i Weibulla. Te rozkłady są możliwe do stosowania w modelu. Jeżeli uwzględnimy współczynnik kształtu Krubeina

$$\Psi_{kr} = \left(\frac{V_e}{V_k} \right)^{1/3}, \quad (11)$$

gdzie: V_e - objętość elipsoidy trójosiowej opisującej ziarno,
 V_k - objętość kuli opisanej na elipsoidzie,

to objętość spadających brył określimy z zależności

$$V = \Psi_{kr}^3 \frac{\pi}{6} a^3, \quad (12)$$

gdzie: a - maksymalny wymiar ziarna.

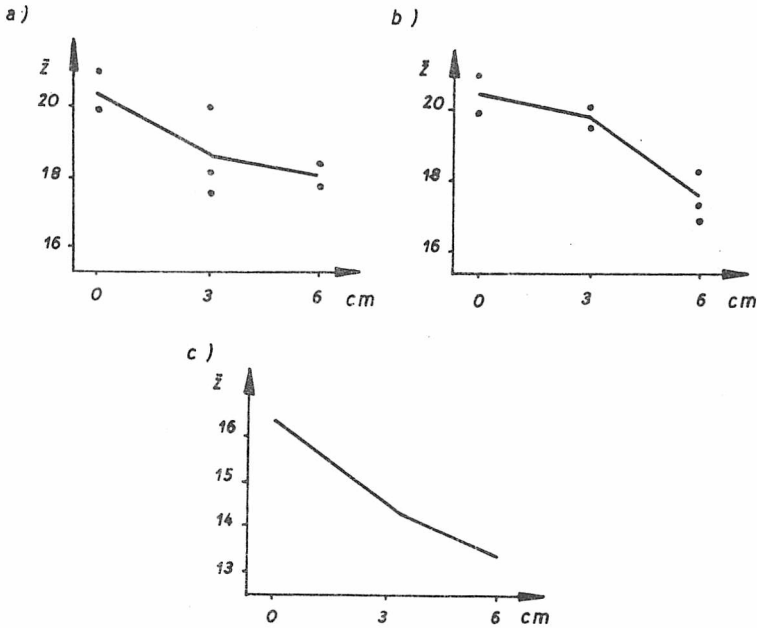
Objętość pomnożona przez gęstość urobku g , wysokość spadku H i przyspieszenie ziemskie daje energię uderzenia spadających brył urobku.

Oczywiście nie każda bryła transportowanego materiału wywołuje uszkodzenie okładki czy rdzenia taśmy. Uszkodzenia powstają w wyniku spadku tylko niektórych, dużych ostrokrawędzistych brył urobku, których energia uderzenia jest większa od energii krytycznej taśmy. Z tego powodu w modelu wprowadzono uproszczenie pozwalające na znaczne przyspieszenie obliczeń, polegające na generowaniu tylko dużych brył (obcięcie krzywej składu ziarnowego na danej wielkości bryły), których energia uderzenia jest zbliżona, równa lub większa od energii krytycznej taśmy, przy czym za energię krytyczną taśmy przyjmuje się wartość energii spadającej bryły, która w danych warunkach podparcia taśmy i dla danego kształtu bryły powoduje pierwsze uszkodzenia okładki lub rdzenia taśmy.

Jak wynika z przedstawionej definicji, wartość energii krytycznej nie jest wartością stałą dla określonego typu taśmy lecz zależy od wielu czynników związanych z parametrami taśmy, konstrukcją przenośnika oraz parametrami transportowanego urobku. W celu identyfikacji tych zależności niezbędnych w modelu zaplanowano i przeprowadzono serię badań eksperymentalnych, które zostaną przedstawione w dalszej części pracy. Wyniki tych badań stanowią bazę danych w obliczeniach modelowych. Po wygenerowaniu wartości energii uderzenia kolejnej dużej bryły w modelu określone jest miejsce spadku tej bryły względem krążników podpierających taśmę oraz względem drobnego urobku przykrywającego taśmę. Oprócz dużych brył urobku na taśmę spada struga urobku drobnego, którego poszczególne ziarna nie wywołują uszkodzeń taśmy, mogą najwyżej osłabić jej odporność na przebicie. Struga drobnego urobku bierze udział w ścieraniu okładek, jak również tworzy swego rodzaju "poduszkę tłumiącą" zabezpieczającą taśmę przed obciążeniami dynamicznymi spadającej dużej bryły.

Jak wykazują badania Ballhause [9], warstwa piasku, żwiru oraz kulek styropianowych leżąca bezpośrednio na taśmie wpływa na znaczne zmniejszenie wartości przyspieszeń uzyskiwanych przy spadku głowicy udarowej. Na rysunku 1 przedstawiono wpływ grubości warstwy piasku o średnicy 2,5 mm, żwiru o średnicy 20 mm i kulek styropianowych o średnicach 10 mm na przyspieszenia wypadkowe w kierunku pionowym. Głowica udarowa zrzucana była na piasek i żwir z wysokości 0,75 m, a na kulki styropianowe z wysokości 0,5 m (żeby nie dopuścić do natychmiastowego zniszczenia kulek). Wyniki wykazują wyraźny spadek przyspieszeń od kilkunastu procent dla piasku i żwiru (12 i 17%) do 22% dla kulek styropianowych. Jest to jednoznaczne ze spadkiem sił uderzenia, a co za tym idzie dowód na to, że drobna warstwa chroni taśmę przed uszkodzeniami.

W modelu wpływ tej drobnej warstwy uwzględniony jest przez zwiększenie promienia zaokrąglenia krawędzi bryły. Można to wytłumaczyć następująco: Bryła spadająca na warstwę drobną traci część swojej energii



Rys. 1. Wpływ grubości warstwy przykrywającej taśmę na przyspieszenie wypadkowe: a) piasek, b) żwir, c) kulki styropianowe
 Fig. 1. The influence of thickness of belt cover layer upon the resultant acceleration: a) sand, b) gravel, c) polyurethane balls

na rozsuniecie drobnych ziarn urobku przed kontaktem z samą taśmą, przez co dociera do powierzchni taśmy niejako o większym promieniu. Jest to z pewnością pewne uproszczenie, ale na obecnym etapie wiedzy uważa się je za dopuszczalne. Po wygenerowaniu energii uderzenia i miejsca spadku bryły następuje określenie jej efektywnego promienia, którym bryła uderzyła w powierzchnię taśmy. Promień ten zależy od rzeczywistego promienia bryły oraz od aktualnej warstwy drobnego urobku przykrywającego taśmę. W zależności od miejsca spadku bryły, przyjmowany jest określony współczynnik redukcji ostrości bryły. Grubość warstwy drobnej rośnie liniowo wraz z długością przesypu. W ten sposób parametry, które w porównaniu z zadanymi wielkościami energii krytycznych dla danego typu taśmy i jej parametrów geometrycznych i materiałowych określają nam czy nastąpiło uszkodzenie taśmy w wyniku spadku tej bryły.

Określana w modelu wielkość uszkodzeń przyjmowana jest jako procent powierzchni uszkodzonej taśmy. Wielkość uszkodzenia zależy od aktualnego stanu taśmy zapamiętywanego w modelu oraz od skutku spadku na tę powierzchnię kolejnej dużej bryły. Wielkość osłabionych powierzchni przy uderzeniach wielokrotnych określono na podstawie przeprowadzonych przez autorkę badań empirycznych.

W miejscu podawania urobku na taśmę występuje oprócz przebieć czy przecięć intensywne ścieranie okładek nośnych taśmy w wyniku działania sił tarcia przyspieszanego urobku. Ścieranie okładek występuje na całej długości przenośnika ale z mniejszą intensywnością. W modelu przyjęto ciągłą w czasie zmianę grubości okładek nośnych. Wielkość ścierania gum okładkowych przyjęto na podstawie badań Ballhaus, Lahmanna, Allesa [4] [7], [83], [84] oraz wieloletnich doświadczeń w kopalniach krajowych.

3.3. Program symulacyjny

Program został napisany w języku Pascal i uruchomiony na mikrokomputerze IBM PC/XT.

Schemat blokowy programu przedstawiono na rys. 2.

Po uruchomieniu programu otrzymujemy wyświetlenie funkcji "menu", w skład którego wchodzi:

1. Przegląd i edycja danych.
2. Wprowadzenie stanu programu.
3. Składowanie stanu programu.
4. Start procesu symulacji.
5. Kontynuacja procesu symulacji.
6. Prezentacja stanu taśmy.
7. Koniec pracy programu.

Program rozpoczynamy przeglądem i edycją danych lub wprowadzeniem stanu programu (wczytanie stanu programu ze zbioru danych na dyskietce), następnie prowadzimy przegląd danych i dokonujemy zmian parametrów (z klawiatury) do określonej symulacji. Przykładowy zestaw danych przedstawiono w tabeli 3.

T a b e l a 3

Parametry skalarne procesu

typ taśmy (<1 - tkan.-gum.; > 1 - z linkami)	0.000
gęstość urobku (kg/m ³):	2700.000
natężenie strumienia urobku (kg/s):	400.000
wysokość spadku urobku (m):	1.200
szerokość taśmy (m):	1.200
długość taśmy (m):	800.000
długość badanego odcinka taśmy (m):	1.000
długość nadawy (m):	4.000
początkowa grubość okładek (mm):	7.000
prędkość taśmy (m/s):	2.500

czas symulacji	(mies):	60.000
okres monitorowania	(dni):	30.000
czas pracy w ciągu dnia	(godz):	16.000
maksymalny stopień zużycia taśmy	(%/100):	0,700
szybkość ścierania okładek	(mm/rok):	1.500
średni promień krawędzi bryły	(cm):	1.000
współczynnik wzdłużnego rozszerzania uszkodzenia	:	0,140
współczynnik poprzecznego rozszerzania uszkodzenia	:	0,140
promień oddziaływania uszkodzenia	(cm):	10.000
współczynnik redukcji ostrości krawędzi	(cm/m):	60.000
współczynnik ścięcia rozkładu poprzecznego	:	0,100
nazwa zbioru monitorowania (poprzedzona spacją)	:a:p400.prn	

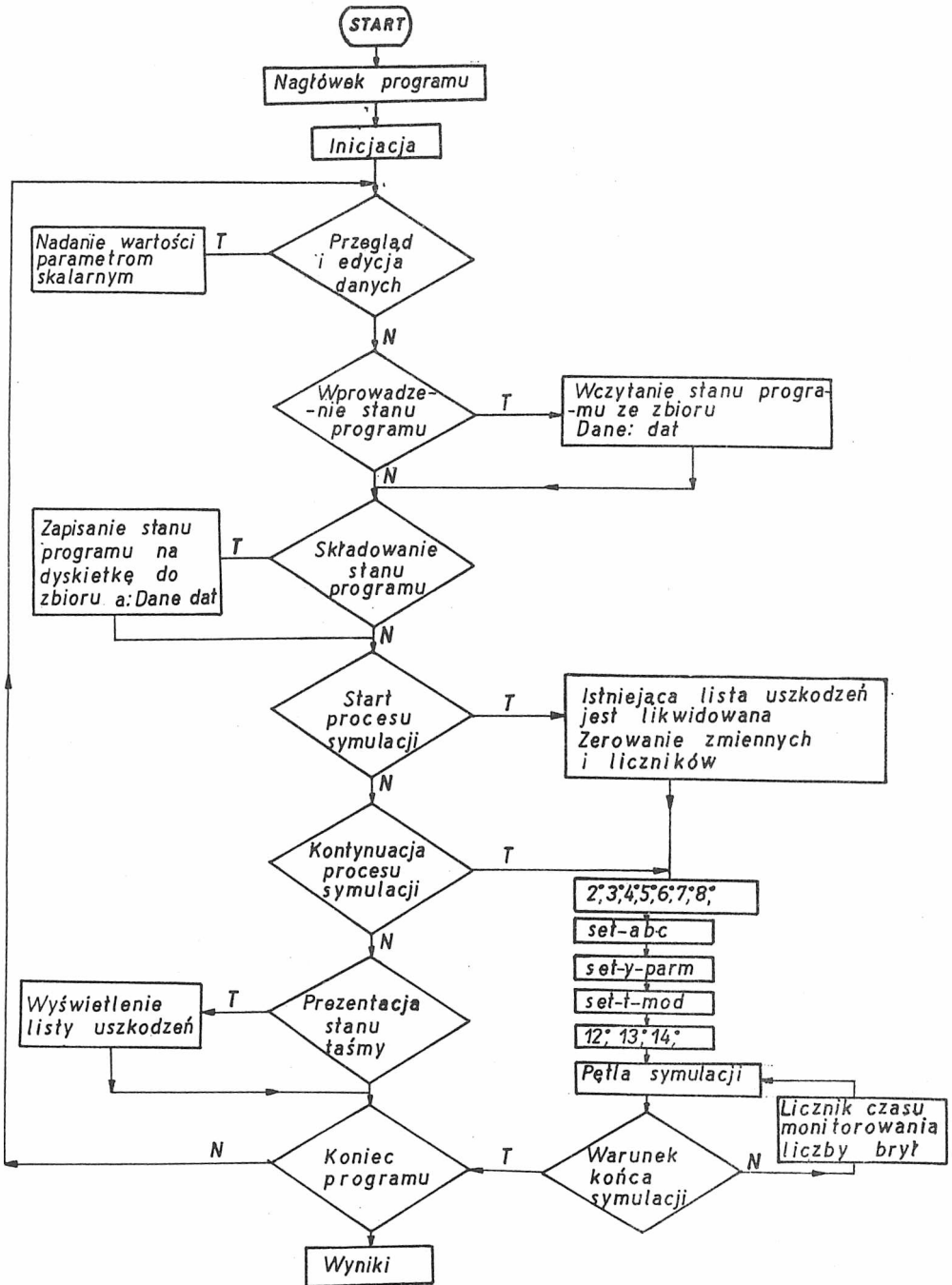
Po parametrach skalarnych wprowadzamy do programu kolejne dane:

- skład ziarnowy transportowanego urobku wprowadzamy do programu podając procentowe zawartości poszczególnych frakcji urobku,
- wartości energii krytycznych dla danego typu taśmy w zależności od promienia zaokrąglenia krawędzi spadającej bryły przy pierwszym i kolejnym uderzeniu w ten sam punkt. Dane te uzyskano z badań empirycznych przeprowadzonych przez autorkę (tab. 4).

T a b e l a 4

Wartości energii uszkodzeń

ENERGIA GRANICZNA DLA PIERWSZEGO USZKODZENIA			
1	dla promienia	1.000 energia	100.000
2	dla promienia	1.500 energia	180.000
3	dla promienia	1.800 energia	500.000
4	dla promienia	3.000 energia	700.000
5	dla promienia	6.000 energia	1700.000
6	dla promienia	15.000 energia	4000.000
7	dla promienia	60.000 energia	30000.000
ENERGIA GRANICZNA DLA KOLEJNYCH USZKODZEŃ			
1	dla promienia	1.000 energia	80.000
2	dla promienia	10.000 energia	1000.000
3	dla promienia	15.000 energia	2500.000
4	dla promienia	60.000 energia	20000.000



Rys. 2. Schemat blokowy programu
 Fig. 2. Block diagram of the programme

Po wprowadzeniu danych możemy zapisać stan programu na dyskietce do dowolnego zbioru lub bezpośrednio przystąpić do startu procesu symulacji. Realizacja procesu symulacji przebiega w następujących krokach:

1. Likwidacja istniejącej listy uszkodzeń. Zerowanie czasu bieżącego. Zerowanie zmiennych i kolejnych liczników:

- licznika czasu monitorowania,
- licznika liczby brył,
- licznika aktualizacji grubości okładek.

2. Przeliczenie czasu monitorowania z dni na sekundy, tzn. okresu po którym następuje zapis do zbioru oraz przeliczenie uaktualnionej powierzchni pól uszkodzonych.

3. Obliczenie maksymalnego czasu monitorowania, po przekroczeniu którego następuje przerwanie symulacji oraz obliczenie całkowitego pola analizowanego odcinka taśmy w jednostkach umownych.

4. Przeliczenie szybkości ścierania okładek nośnych taśmy podanej w danych w mm/rok na mm/s.

5. Podstawienie za aktualną wartość grubości okładki nośnej wartość początkową przedstawioną w parametrach skalarnych.

6. Przeliczenie współczynników wzdłużnego i poprzecznego rozszerzenia uszkodzeń na umowne jednostki obliczeniowe.

7. Obliczenie maksymalnej dopuszczalnej powierzchni uszkodzeń, po przekroczeniu której następuje zatrzymanie symulacji. Powierzchnia liczona jest w umownych jednostkach.

8. Obliczenie współczynnika uwzględniającego redukcję ostrości krawędzi bryły, a stosowanego w dalszej części programu do obliczania efektywnego promienia krawędzi bryły.

9. Wykonanie procedury set-abc zawierającej:

- obliczenie minimalnej masy niszczącej po uwzględnieniu minimalnej wartości energii niszczącej podanej w danych na początku,
- obliczenia masy maksymalnego ziarna (o maksymalnej średnicy) na podstawie empirycznego rozkładu uziarnienia oraz jego energii,
- obliczenie średnicy ziarna o minimalnej energii niszczącej,
- jeżeli średnica ziarna o minimalnej energii uszkadzającej jest większa od średnicy ziarna o maksymalnym wymiarze dla danej klasy ziarnowej, to wysyłany jest komunikat: przy zadanych parametrach zerowe prawdopodobieństwo uszkodzenia, w przeciwnym wypad-

ku następuje zerowanie zmiennych zawierających średnicę ziarn z poprzedniej klasy ziarnowej oraz zmiennej zawierającej informację o znalezieniu pierwszej klasy ziarnowej mogącej uszkodzić taśmę,

- wyszukanie pierwszej klasy ziarnowej mogącej uszkodzić taśmę,
- określenie natężenia strumienia brył niszczących taśmę w danej klasie ziarnowej, która jest prawdopodobieństwem wystąpienia brył o średnicy przekraczającej minimalną średnicę ziarna uszkadzającego pomnożonym przez natężenie urobku,
- obliczanie jaka część urobku wywołuje uszkodzenie,
- obliczenie średniej masy uszkadzającej,
- obliczenie okresu występowania brył niszczących.

10. Wykonanie procedury set-y-pam. Procedura ta ustala parametry wykorzystywane do wyznaczania miejsca spadku bryły na taśmę po szerokości taśmy. Odległość miejsca uderzenia bryły od brzegów taśmy musi być określona ze względu na inny charakter powstawania uszkodzeń na załamanych pod kątem niecki brzegach taśmy a odcinkiem taśmy podpartej krążnikiem poziomym.

11. Wykonanie procedury set-t-mod zawierającej:

- obliczenie energii brył o maksymalnej masie,
- obliczenie do jakiej wielkości promienia krawędzi bryły energia krytyczna będzie większa lub równa energii maksymalnej z danego składu ziarnowego urobku i zapisanie tego promienia,
- obliczenia dla zadanego promienia krytycznej energii uszkadzającej w zależności od tego czy uderzenie zostało skierowane w pole uszkodzone czy nie uszkodzone,
- obliczenie efektywnej długości nadawy,
- obliczenie średniego czasu pojawienia się bryły niszczącej.

12. Wypisanie na ekranie informacji o:

- przedziale energii generowanych brył,
- przedziale mas niszczących,
- przedziale wymiarów niszczących,
- okresie występowania brył niszczących,
- natężeniu strumienia niszczącego,
- średniej masie bryły niszczącej,
- efektywnej długości nadawy.

13. Wypisanie: czas w dniach; stopień zniszczenia; liczba brył.

14. Zapisanie zadanych i obliczonych parametrów do zbioru monitorowania na dysku.

15. Wykonanie pętli symulacyjnej zawierającej:

- zwiększenie liczby brył o 1,
- wygenerowanie czasu między bryłami (rozkład prawdopodobieństwa czasu pomiędzy pojawieniem się brył o średnicy ponadkrytycznej jest wykładniczy),
- zwiększenie czasu symulacji i czasu monitorowania o wygenerowany czas,
- wygenerowanie masy bryły (rozkład prawdopodobieństwa masy bryły o masie ponadkrytycznej jest trójkątny o wartości średniej określonej przez ogon rozkładu empirycznego),
- obliczenie średnicy bryły o wygenerowanej masie,
- wygenerowanie współrzędnych y i x położenia bryły niszczącej,
- obliczanie promienia spadającej bryły, zależnego od punktu spadku na przesypie oraz współczynnika redukcji krawędzi,
- obliczanie energii spadającej bryły,
- losowe określenie czy uderzenie nastąpiło w pole uszkodzone czy nie uszkodzone i sprawdzenie czy energia bryły jest większa od krytycznej dla tych warunków (tzn. pierwsze lub kolejne uderzenie),
- obliczanie współrzędnych uszkodzonego pola (jeżeli energia bryły jest większa od krytycznej) z uwzględnieniem współczynników wzdłużnego i poprzecznego rozszerzenia uszkodzenia,
- pole uszkodzenia zwiększa się o powierzchnię nowego uszkodzenia,
- sprawdzenie warunku czy licznik czasu monitorowania jest większy od zadanego czasu monitorowania. Jeżeli tak, to:
 - zerowany jest licznik czasu monitorowania,
 - obliczane są lata, miesiące, dni i godziny,
 - zerowany jest licznik aktualnej grubości okładek,
 - wykonana jest procedura "join" polegająca na aktualizacji listy uszkodzeń poprzez połączenie uszkodzeń nakładających się na siebie. Następuje ponowne obliczenie powierzchni uszkodzeń (weryfikacja),
 - do zbioru zapisywany jest czas oraz stan taśmy (procent uszkodzonej powierzchni),
 - na ekranie wypisane zostają informacje: czas, procent uszkodzonej powierzchni, liczba brył.

Pętla symulacji wykonywana jest do momentu:

- przekroczenia zadanego czasu symulacji,
- przekroczenia zadanego stopnia zużycia taśmy.

16. Zerowanie czasu monitorowania oraz obliczanie czasu lat, miesięcy i dni.

17. Wpisanie do zbioru monitorowania i na ekranie informacji o przyczynach zakończenia symulacji, np.:

Symulacja zakończona - upłynął zadany czas

Przekroczony zadany stopień zużycia taśmy

18. Wyniki symulacji prezentowane są w następującej formie (tab. 5).

T a b e l a 5

Edycja wyników symulacji

POCZATEK PRZBIEGU SYMULACYJNEGO			
(format czasu: rok-miesiąc-dzień)			
czas: 0- 1-0	procent	uszkodzenia:	1.00
czas: 0- 2-0	procent	uszkodzenia:	2.02
czas: 0- 3-0	procent	uszkodzenia:	3.28
czas: 0- 4-0	procent	uszkodzenia:	4.43
czas: 0- 5-0	procent	uszkodzenia:	5.55
czas: 0- 6-0	procent	uszkodzenia:	6.92
czas: 0- 7-0	procent	uszkodzenia:	8.19
czas: 0- 8-0	procent	uszkodzenia:	9.45
czas: 0- 9-0	procent	uszkodzenia:	10.83
czas: 0-10-0	procent	uszkodzenia:	12.24
czas: 0-11-0	procent	uszkodzenia:	13.64
czas: 1- 0-0	procent	uszkodzenia:	15.07
czas: 1- 1-0	procent	uszkodzenia:	16.31
czas: 1- 2-0	procent	uszkodzenia:	17.78
czas: 1- 3-0	procent	uszkodzenia:	19.36
czas: 1- 4-0	procent	uszkodzenia:	20.91
czas: 1- 5-0	procent	uszkodzenia:	22.54
czas: 1- 6-1	procent	uszkodzenia:	24.11
czas: 1- 7-1	procent	uszkodzenia:	25.54
czas: 1- 8-1	procent	uszkodzenia:	27.24
czas: 1- 9-1	procent	uszkodzenia:	29.18
czas: 1-10-1	procent	uszkodzenia:	31.13
czas: 1-11-1	procent	uszkodzenia:	33.04
czas: 2- 0-1	procent	uszkodzenia:	35.57
czas: 2- 1-1	procent	uszkodzenia:	39.49
czas: 2- 2-1	procent	uszkodzenia:	43.10
czas: 2- 3-1	procent	uszkodzenia:	61.58
czas: 2- 4-1	procent	uszkodzenia:	71.33

czas: 2- 4-1	procent	uszkodzenia:	71.33

4. BADANIA EKSPERYMENTALNE ODPORNOŚCI TAŚM PRZENOŚNIKOWYCH NA OBCIĄŻENIA DYNAMICZNE

Do stosowania przedstawionego modelu symulacyjnego konieczna jest znajomość wielu zależności pomiędzy działającymi obciążeniami dynamicznymi a skutkiem tych obciążeń, tzn. uszkodzeniami powstającymi w taśmach przenośnikowych. Identyfikacja tych zależności, które następnie będą stanowić bazę danych do modelu symulacyjnego jest celem przeprowadzonych badań eksperymentalnych.

4.1. Analiza literatury z zakresu badań odporności taśm na obciążenia dynamiczne

Badania dynamiczne taśm przenośnikowych są dosyć często opisywane w literaturze. Prezentowane prace dotyczą najczęściej badań eksperymentalnych taśm, chociaż autorzy niektórych z nich próbują rozwiązywać te zagadnienia teoretycznie. Jedną z pierwszych publikacji na ten temat jest praca Köttinga [80], w której autor prowadził rejestrację impulsów siły uderzenia. Pomiarów przeprowadzał na stanowisku umożliwiającym obciążanie nieruchomych próbek taśm udarem prostopadłym do ich powierzchni. Próbką taśmy podparta była podczas badań taśmą z linkami stalowymi lub zestawami krążnikowymi. Kötting wykazał, że taśmy podparte inną taśmą w punkcie nadawy mają większą zdolność przejmowania energii uderzenia aniżeli taśmy podparte zestawami krążnikowymi. Kötting mylił się jednak w interpretacji wyników badań twierdząc, że dopuszczalna siła reakcji na udar poprzeczny jest wielkością charakteryzującą taśmę. Pomiął zatem wpływ zależności siły od czasu na skutki jakie ta siła wywołuje. Kötting uważał również, że ograniczenie oddziaływania udaru do naprężeń prostopadłych do powierzchni taśmy, bez udziału zginania, zwiększa zdolność przejmowania energii przez taśmę. Tymczasem wystąpienie innych składowych trójosiowego stanu naprężenia w granicach naprężeń dopuszczalnych zwiększa pracę odkształcenia sprężystego taśmy, a zatem "zdolność przejmowania energii".

Wystąpienie zginania, z którym związane jest rozciąganie rdzenia taśmy w kierunku jej osi, zwiększa znacznie energię odkształcenia sprężystego taśmy ze względu na wysoki moduł wytrzymałości wzdłużnej rdzenia taśmy przenośnikowej.

Kolejną pracą na ten temat jest praca Lübricha [86]. Autor podjął próbę teoretycznego opisu procesu uderzenia bryły urobku w taśmę. Lübrich wyszedł z prostego modelu złożonego z masy odpowiadającej masie

bryły oraz sprężyny odwzorowujących własności sprężyste taśmy i jej podparcia. Obliczył wielkość dynamicznej siły reakcji taśmy oraz przyspieszenie bryły w kierunku stycznym do powierzchni taśmy uwzględniając ruch taśmy. Określona teoretycznie zależność maksimum siły uderzenia od energii bijaka wykazała dużą zgodność z analogicznymi krzywymi sporządzanymi na podstawie pomiarów Küttgena. Zależność siły od czasu w przyjętym modelu nie została zweryfikowana. Duże uproszczenia modelu, takie jak założenie liniowej zależności siły reakcji od ugięcia sprężyny oraz nie uwzględnienie tłumienia, znacznie ograniczają możliwość jej zastosowania.

Pierwszym, bardziej wyczerpującym opracowaniem omawiającym zachowanie się taśm przenośnikowych o różnej konstrukcji poddawanych obciążeniom udarowym w punktach nadawy była praca Vierlinga i Maiera [91], [133]. Autorzy przyjęli założenie, że uszkodzenia powstające w taśmie w punkcie nadawy wywołują tylko składowe pionowe siły uderzenia, dlatego też w badaniach eksperymentalnych taśma była obciążana udarem prostopadłym do jej powierzchni. Rejestrowano impulsy dynamicznej siły reakcji taśmy na to obciążenie oraz mierzono ugięcia, wydłużenia i odkształcenia w wyniku zginania taśmy. Analiza wyników pozwoliła na ogólne wyjaśnienie mechanizmu powstawania uszkodzeń oraz na sprecyzowanie podstawowych zależności pomiędzy odpornością na przebicie taśm a niektórymi parametrami konstrukcyjnymi taśm przenośnikowych. Vierling i Maier [133] wprowadzili pojęcie energii krytycznej, którą zdefiniowali jako odciętą odpowiadającą punktowi załamania się krzywej zależności siły uderzenia od energii kinetycznej bijaka. W taśmach tekstylnych energia krytyczna odpowiadała powstaniu pierwszego uszkodzenia przekładki, natomiast w taśmach z linkami stalowymi okazała się pojęciem nieostrym. W taśmach tych uszkodzenia powstawały najpierw w okładkach, a następnie w rdzeniu taśmy (odwrotnie niż w taśmach tekstylnych) oraz brak było wyraźnego załamania krzywej wyrażającej zależność siła-energia. Również dla wartości niższych od energii krytycznej rejestrowano drobne uszkodzenia taśmy.

Według autorów, tak zdefiniowana energia krytyczna miała być wielkością charakteryzującą taśmę, zależną jedynie od parametrów konstrukcyjnych i fizyko-mechanicznych taśmy. Tego założenia nie potwierdziły późniejsze badania, między innymi autorki niniejszej pracy [10], [21], [24], [43], [50], [52], które dowodzą, że wartość energii krytycznej zależy również od sposobu podparcia taśmy i kształtu krawędzi bryły uderzającej.

Wątpliwość wzbudza dokładność zastosowanej przez autorów metody pomiaru ugięcia i wydłużeń taśmy. Powierzchnię ugięcia wyznaczały wierzchołki pręcików zagłębionych w kicie i umieszczonych pod taśmą, zaś rozkład wydłużeń ekstrapolowano na podstawie zarejestrowanych wydłużeń pły-

tek pomiarowych przykręconych do taśmy śrubami "na wylot" w pewnej odległości od miejsca uderzenia. Obie metody pomiaru mogły wprowadzić istotne zaburzenia wielkości mierzonych. Wątpliwości budzi również sposób przygotowania próbek taśm do badania wpływu grubości okładki nośnej na odporność na przebicie przez doklejenie warstw gumy o odpowiedniej grubości. Nie można odnieść wyników tych badań do produkowanych taśm o okładce jednorodnej.

Do wad metody pomiarowej Maiera trzeba zaliczyć ograniczenie badań tylko do obciążania taśmy w środku rozstawu krążnikowego oraz konieczność zdejmowania okładki w celu ustalenia wielkości uszkodzeń rdzenia taśmy.

Zagadnieniem odporności na przebicie taśm tekstylnych zajął się również Quaas [111], [112]. Przedstawia on badania wykonane na próbce taśmy wstępnie napiętej, obciążanej udarem prostopadłym do jej powierzchni. Quaas prowadzi rejestrację siły i ugięcia taśmy w miejscu uderzenia. Ugięcie mierzono przy pomocy indukcyjnego czujnika przemieszczeń. Na podstawie obu zarejestrowanych przebiegów sporządzono wykresy siły w funkcji drogi ugięcia. Pole pod tak uzyskaną krzywą, mierzone za pomocą planimetru, odpowiadało energii odkształcenia sprężystego taśmy. Tak określona wartość energii sprężystości obarczona jest dużym błędem ze względu na niedokładność planimetrowania oraz dużą bezwładność czujnika przemieszczeń, wykluczającą właściwie sensowność jego stosowania w razie dużego ugięcia trwającego zaledwie kilka do kilkadziesiąt milisekund.

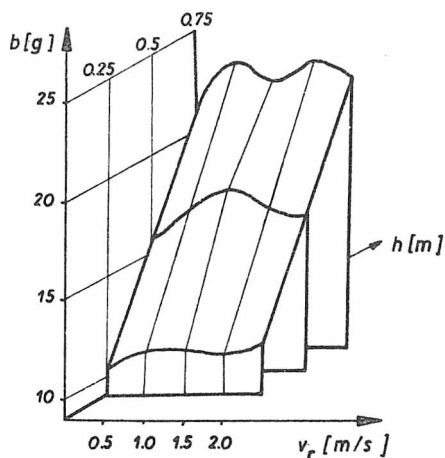
Inny sposób odwzorowania obciążeń taśmy w punkcie nadawy zaproponowali Komander i Palczak [79]. Chcieli oni odwzorować składową styczną reakcji taśmy, która w razie uderzenia w taśmę ruchomą nadaje bryle przyspieszenie w kierunku poziomym. Próbka taśmy miała być obciążona udarem pod dowolnym kątem, co w badaniach realizowano poprzez odchylenie powierzchni taśmy od poziomu wraz z całą ramą, w której napinano próbkę taśmy. Taśma obciążana była uderzeniem bijaka spadającego w pionowych prowadnicach. W badaniach przeprowadzonych na tak zaprojektowanym stanowisku badawczym jako kryterium oceny wytrzymałości na uderzenia taśm z linkami stalowymi przyjęto energię, przy której następują uszkodzenia okładki bieżnej sięgające do linek.

Z nowszych prac, których autorzy stawiali sobie za cel odwzorowanie stanu obciążenia taśmy występującego w punkcie nadawy na rzeczywistym przenośniku, jest praca Ballhauusa [10]. Autor przedstawia badania prowadzone na ruchomej taśmie, gdzie prędkość taśmy i napięcie wstępne mogły być zmienione. Głowica pomiarowa, nie prowadzona w prowadnicach, spadała swobodnie na ruchomą, poziomą taśmę. Wewnątrz kulistej głowicy umieszczono układ do pomiaru przyspieszeń w trzech prostopadłych kierun-

kach. Układ ten składał się z trzech prostopadłych płytek, których jeden koniec utwierdzono, do drugiego zaś przymocowano skoncentrowaną masę. Na płytkach umieszczono układy tensometrów reagujące na zginanie. Przebiegi trzech składowych przyspieszenia rejestrowano w czasie. Na podstawie uzyskanych wyników autor sporządził wykresy poszczególnych składowych oraz przyspieszenia wypadkowego zależnego od prędkości taśmy, a także zależności przyspieszenia wypadkowego od wysokości spadku, grubości warstwy nosiwa transportowanego na taśmie. Zamieszczone w pracy [10] wykresy poszczególnych składowych przyspieszenia w funkcji prędkości taśmy nie przedstawiają żadnej, możliwej do zinterpretowania, zależności. Przeciwnie, duży rozrzut punktów pomiarowych wskazuje na ich zupełnie przypadkowy rozkład. Nasuwa to wniosek, że jest to wynikiem zastosowanej metody pomiaru, w której niewielki obrót kulistej głowicy pomiarowej w czasie swobodnego spadku mógł zmienić położenie płytek pomiarowych w stosunku do osi wzdłużnej i poprzecznej taśmy, w wyniku czego mierzono składowe przyspieszenia w przypadkowych kierunkach. Brak natomiast istotnej tendencji wzrostowej wartości wypadkowego przyspieszenia ze wzrostem prędkości taśmy (rys. 3) dowodzi, iż pomiary mogą być prowadzone z równą dokładnością na taśmie nieruchomej.

Flebbe [21] w kolejnej pracy na temat wytrzymałości na przebicie taśm z linkami stalowymi koncentruje się na badaniach porównawczych taśm o różnych konstrukcjach przekładek ochronnych, zarówno tekstylnych jak i z kordu stalowego. Za wadę tej pracy można uznać fakt, że wszystkie pomiary prowadzone są tylko na jednym rodzaju podparcia taśmy w chwili uderzenia, mianowicie taśma obciążana jest w połowie rozstawu krążnikowego.

Inny sposób podejścia do zagadnienia przebicia i przecięcia taśm nowych konstrukcji prezentuje Paul [106]. W pracy tej autor założył, że przecięcia wzdłużnego taśmy można uniknąć jedynie wówczas, gdy siła reakcji taśmy na zagłębianie w niej ostrokrawędzistego ciała będzie odpowiednio wysoka by ciało to wypchnąć. Przedmiotem przeprowadzonych badań było porównanie siły reakcji taśmy na statyczne zagłębianie przebijaka



Rys. 3. Zależność wypadkowego przyspieszenia od prędkości taśmy i od wysokości spadku końcówki udarowej [9]

Fig. 3. Resultant acceleration as the function of belt speed and the height of the falling impact head

wykonane dla taśm z linkami stalowymi zaopatrzonymi w poliamidową przekładkę ochronną, poprzeczną warstwę stalowego kordu lub bez wzmocnienia poprzecznego. Badania te wykazały wyższość wzmocnienia poprzecznego taśmy w postaci stalowego kordu. Ze względu na statyczny charakter powstającej siły reakcji badania te nie mogą być traktowane jako miarodajne odwzorowanie obciążeń taśmy w punkcie nadawy.

Na koniec należy zaznaczyć, że badaniami odporności na obciążenia dynamiczne taśm zajmowano się w Zespole Transportu Kopalnianego Instytutu Górnictwa od szeregu lat. Część cytowanych tu prac badawczych z ośrodków zagranicznych była prowadzona równoległe do prac we Wrocławiu, część prac natomiast była prowadzona wspólnie z Uniwersytetem w Hanowerze czy z Politechniką w Delft.

W zakresie prac eksperymentalnych prowadzonych w zespole kierowanym przez autorkę niniejszej pracy została ukończona praca doktorska Gołosińskiej [34] opracowująca model matematyczny taśmy z linkami stalowymi obciążonej udarem poprzecznym.

Również koncepcja pracy doktorskiej Wintera [144] na temat trwałości taśm została sprecyzowana w wyniku kilku konsultacji udzielonych przez autorkę tej pracy we Wrocławiu i Freibergu w latach 1981 i 1982, kiedy prace badawcze we Wrocławiu były już bardzo zaawansowane i dysponowano znaczną liczbą wyników. W eksperymentalnej części pracy Winter wykorzystuje w znacznej mierze doświadczenia badań we Wrocławiu, natomiast do obliczania trwałości taśm stosuje metodę elementów skończonych zgodnie z kierunkiem wytyczonym przez Ballhaus w jego pracy doktorskiej [7].

4.2. Program badań eksperymentalnych

Uwzględniając wyrywkowy charakter dostępnych w literaturze badań oraz trudność przetransponowania i zastosowania wyników tych badań do potrzeb omawianego modelu symulacyjnego, wykonano specjalnie kompleksowe badania dynamiczne taśm przenośnikowych. Celem badań było określenie wielkości sił dynamicznych będących reakcją taśmy na obciążenia udarowe oraz oznaczenie wielkości uszkodzeń powstających w taśmach w wyniku tych obciążeń.

Program badań eksperymentalnych przeprowadzonych na trzech stanowiskach badawczych we Wrocławiu i w Hanowerze obejmował:

- pomiar siły uderzenia,
- pomiar przyspieszenia (opóźnienia) bijaka w czasie trwania uderzenia,
- pomiar prędkości bijaka w chwili uderzenia,

- pomiar ugięcia taśmy w miejscu uderzenia,
- oszacowanie uszkodzeń taśmy.

Wielkościami zmiennymi były:

- energia uderzenia,
- rodzaj podparcia taśmy w chwili uderzenia,
- kształt końcówki udarowej,
- ilość uderzeń w ten sam punkt.

Badania przeprowadzono na próbkach taśm:

- z linkami stalowymi typów ST 1250, ST 2500 oraz ST 3150, w których parametrami zmiennymi były:

- grubości okładek nośnych i bieżnych,
- gatunki gumy użytej na okładki taśm,
- konstrukcja linek,

- tkaninowych o wytrzymałości na rozciąganie od 500 do 2000 kN/m, w których parametrami zmiennymi były:

- konstrukcja rdzenia taśmy,
- materiał użyty na okładki taśm,
- grubość okładek.

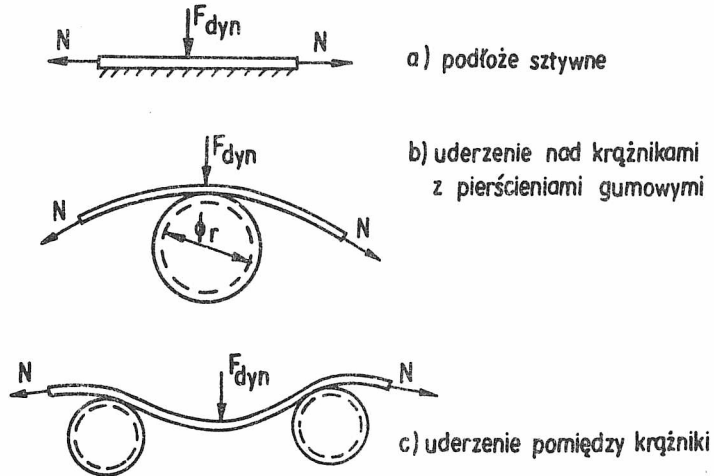
Tak zaplanowane badania taśm pozwoliły na określenie wielu zależności w zakresie odporności na obciążenia dynamiczne taśm przenośnikowych stosowanych w krajowym górnictwie podziemnym węgla kamiennego i miedzi oraz w kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego i surowców skalnych.

4.3. Opis stanowisk badawczych i metod pomiaru

Pomiary wykonano na specjalnych stanowiskach do badania udarowego taśm. Rozwiązania konstrukcyjne stanowisk badawczych umożliwiały realizację kolejnych punktów programu badań.

Stanowisko pomiarowe nr 1 (rys. 4) składa się z wieży wyposażonej w prowadnicę, po której spada swobodnie wózek z bijakiem i ciężarami oraz niezależnej części służącej do mocowania i hydraulicznego napinania próbek taśm.

Rama stanowiska przystosowana jest do umieszczenia w niej krążników stanowiących podparcie taśmy.

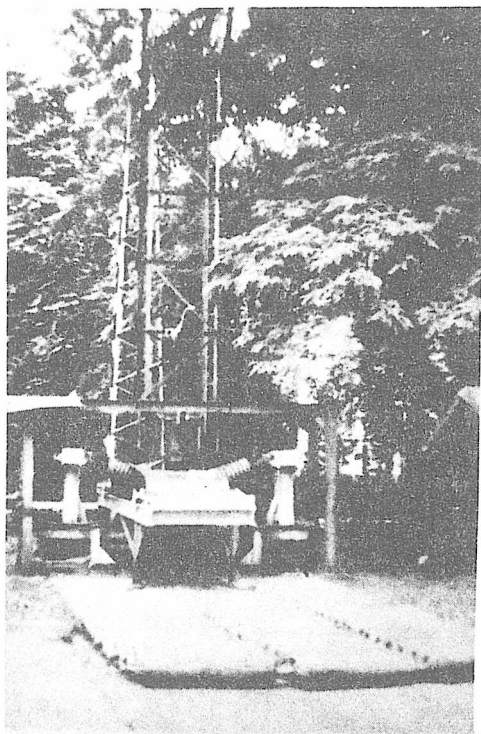


Rys. 6. Rodzaje podparcia taśmy
Fig. 6. Types of belt supportings

Stanowisko to umożliwiało zmianę konstrukcji podparcia taśmy podczas obciążeń dynamicznych w trzech wariantach przedstawionych na rys. 6.

Wytrzymałościowo najniebezpieczniejsze było podparcie sztywne (stolik z grubej blachy stalowej). Uderzenia w taśmę podpartą stalowym stolikiem obrazowały centryczne trafienia brył urobku w taśmę podpartą krążnikiem z płaszczem stalowym w zestawie sztywnym, nieamortyzowanym. Dzięki zastosowaniu podparcia w postaci płaskiej powierzchni a nie walca (jak w warunkach kopalni), wyeliminowano uderzenia niecentryczne w miejsca, gdzie taśma nie styka się bezpośrednio z krążnikiem, a więc przypadki wytrzymałościowo mniej niebezpieczne, które mogłyby zafałszować wyniki pomiarów. Ograniczenie warunków uderzenia jedynie do trafienia w środek krążnika z płaszczem stalowym pozwoliło uchwycić wpływ konstrukcji rdzenia na wielkość sił uderzenia przyjętych przez samą taśmę. Ażeby nawiązać do rzeczywistych warunków podparcia taśm, przeprowadzono również serię pomiarów na próbkach taśm podpartych dwoma krążkami z pierścieniami gumowymi, kierując uderzenia bijaka w krążnik lub pomiędzy krążniki. Uzyskane w ten sposób trzy rodzaje podparcia: sztywne, uelastycznione poprzez warstwę gumy pierścienia krążnika oraz uderzenia między krążniki pozwoliły zaobserwować i przeprowadzić pełną analizę własności udarowych badanych taśm.

Metoda pomiaru na stanowisku badawczym nr 2 (rys. 7) była taka sama jak na stanowisku nr 1. Stanowisko to umożliwiało dodatkowo prowadzenie badań na taśmie podpartej przez:



Rys. 7. Stanowisko badawcze nr 2
Fig. 7. Test stand No. 2

- średnica krążników $d = 13,3 \text{ mm}$,
- rozstaw krążników $l = 380 \text{ mm}, 480 \text{ mm}, 580 \text{ mm}$ i 680 mm ,
- masa spadającego wózka z bijakiem $m = 85,5 \text{ kg}$,
- maksymalna wysokość spadku $H = 2,9 \text{ m}$.

Pomiary na trzech stanowiskach badawczych prowadzone były na próbkach taśm obciążonych stałym napięciem wstępnym o wartości 10% ich nominalnej wytrzymałości na rozciąganie.

4.4. Wyniki badań eksperymentalnych

Wyniki pomiarów otrzymano w formie oscylogramów (rys. 12 i 13), z których określono: siły uderzenia, czas trwania impulsu siły, współczynnik oporów ruchu w prowadnicach oraz przemieszczenie się punktu uderzenia.

Do wykrywania i oszacowania wielkości uszkodzeń w taśmach zastosowano metodę radiograficzną [58], [59], polegającą na prześwietlaniu taśm

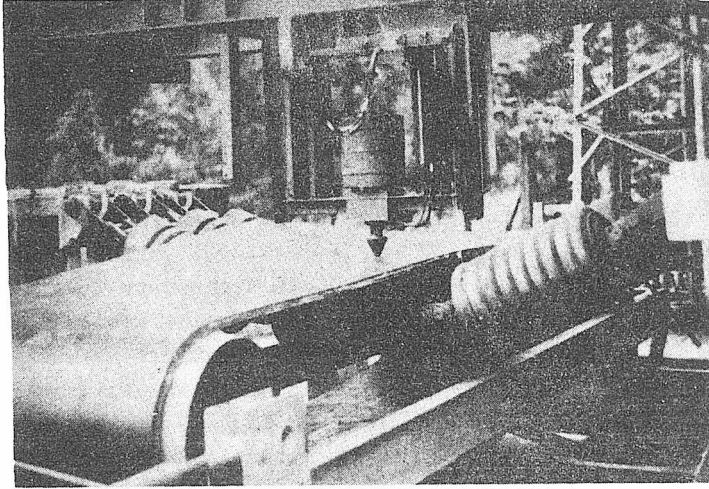
- elastyczne zestawy krążników z płaszczem stalowym oraz z pierścieniami gumowymi (rys. 8),
- nowy typ podparcia zbudowany z belek gumowych z warstwą teflonu (rys. 9).

Stanowisko badawcze nr 3 (rys. 10) znajduje się w Instytucie Transportu i Maszyn Górniczych Uniwersytetu w Hanowerze, gdzie autorka prowadziła badania.

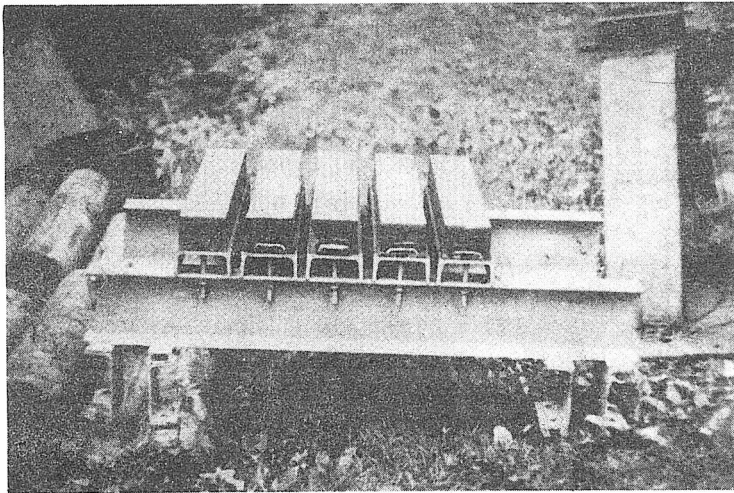
Oprócz pomiarów, które były możliwe do przeprowadzenia na wcześniej omówionych stanowiskach badawczych, na tym stanowisku istniała możliwość dokonania:

- zmiany rozstawu krążników,
- pomiaru ugięcia taśmy w miejscu uderzenia,
- zmiany końcówki udarowej bijaka (rys. 11).

Parametry stanowiska badawczego nr 3 były następujące:



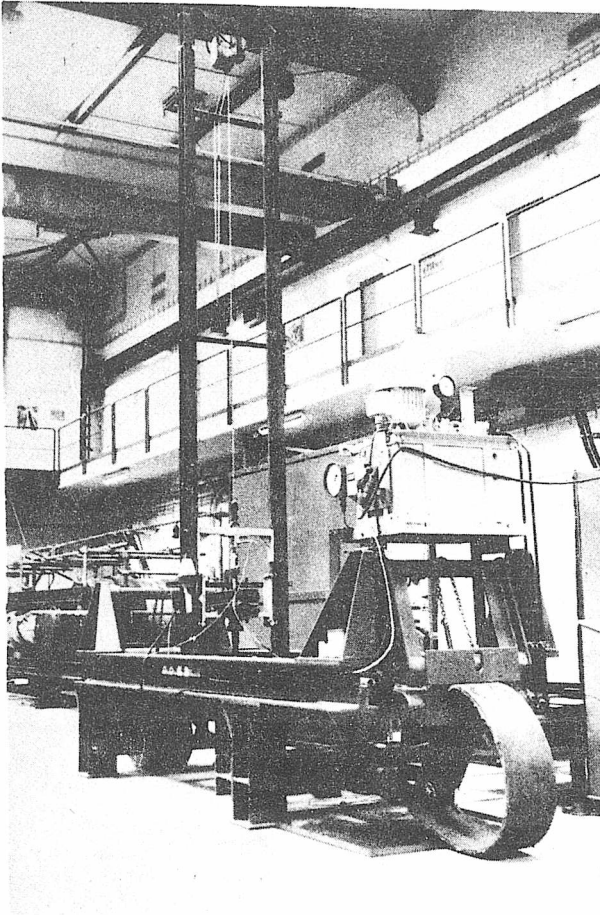
Rys. 8. Podparcie elastycznymi zestawami krażników nadawowych
 Fig. 8. Rubber cushion impact idler supporting



Rys. 9. Podparcie belkami gumowymi
 Fig. 9. Rubber beam supporting

przeñośnikowych promieniami rentgenowskimi. Na podstawie uzyskanych w ten sposób radiogramów określono wielkość i charakter uszkodzeń. Aby umożliwić klasyfikację uszkodzeń powstających w taśmach, sporządzono 10-cio stopniową skalę oceny uszkodzeń taśm tkaninowych oraz dla taśm z linkami stalowymi 10-cio stopniową skalę oceny uszkodzeń linek i 6-cio stopniową skalę oceny uszkodzeń w gumie.

Przykładowe radiogramy taśm przedstawiono na rys. 14-18.



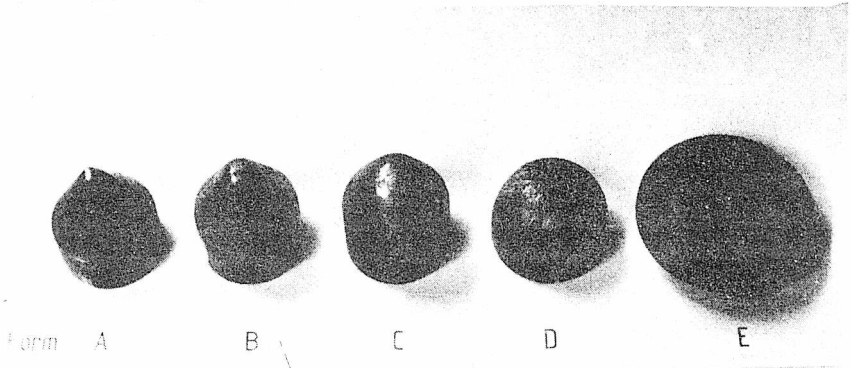
Rys. 10. Stanowisko badawcze nr 3
Fig. 10. Test stand No.3

4.5. Analiza wyników badań eksperymentalnych

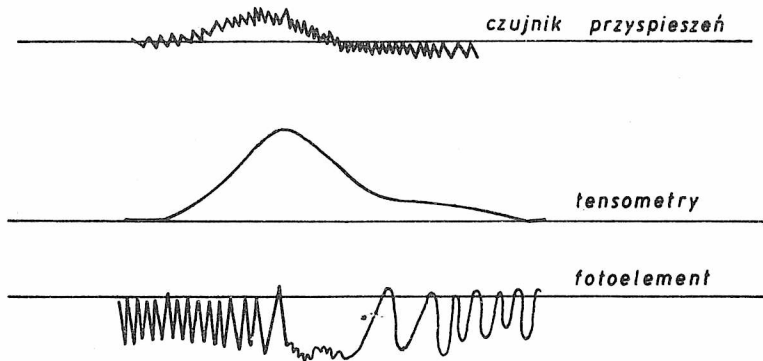
Ze względu na znaczne różnice charakteru uszkodzeń powstających w wyniku działania obciążeń dynamicznych w taśmach z linkami stalowymi i w taśmach tekstylnych, analizę wyników przeprowadzono dla obu tych typów osobno.

4.5.1. Analiza wyników badań taśm z linkami stalowymi

Na podstawie wyników badań eksperymentalnych określono liczne zależności.



Rys. 11. Kształty końcówek pomiarowych
 Fig. 11. Shapes of testers (contact tips, gauging points)



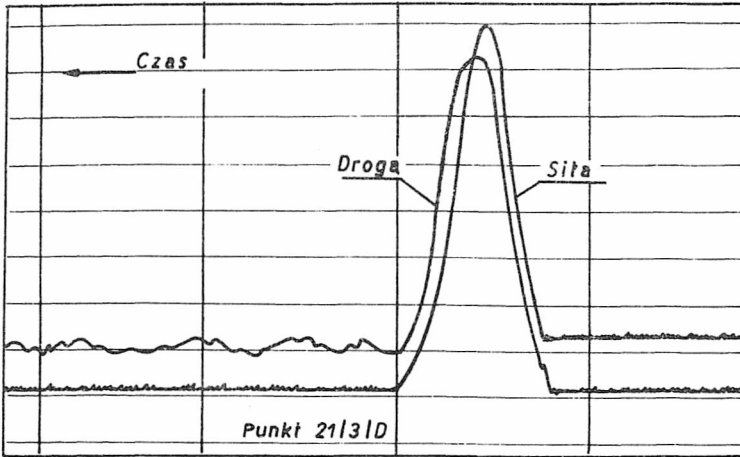
Rys. 12. Przykładowy oscylogram na stanowisku badawczym nr 1
 (taśma 1000) 1 - uderzenie między kółkami (pkt 13)
 Fig. 12. Oscillogram on the test stand No. 1 (1000 belt) 1 - impact
 between belt idlers item 13)

4.5.1.1. Zależność siły uderzenia od energii spadającej bryły

Z rozważań teoretycznych i dotychczasowych badań eksperymentalnych wynika, że w zakresie odkształceń sprężystych, czyli do momentu wystąpienia pierwszych uszkodzeń taśmy, zależność siły uderzenia od energii spadku bryły ma następującą postać:

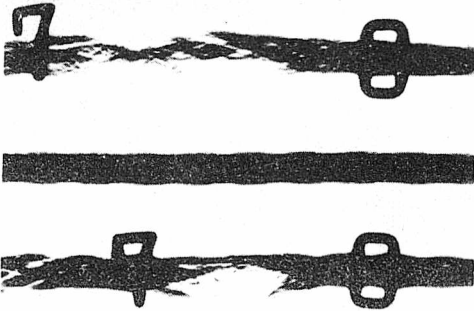
$$F = \Phi E^\alpha,$$

gdzie: F - siła uderzenia,
 E - energia uderzenia,
 Φ - wielkość stała dla zadanych warunków uderzenia,
 α - współczynnik modelu nieliniowego.

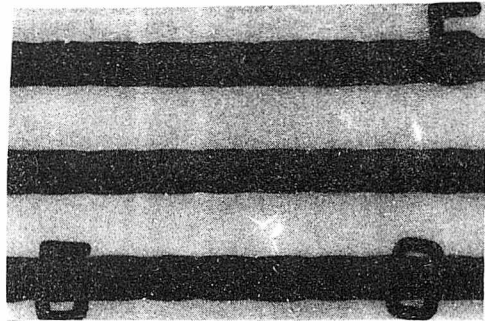


Rys. 13. Przykładowy oscylogram na stanowisku badawczym nr 3
(taśma St 1250)

Fig. 13. Oscillogram on the test stand No. 3 (St 1250 belt)



Rys. 14. Radiogram taśmy z linkami stalowymi - uszkodzenia linek (taśma St 2500 firmy Scholtz)
Fig. 14. Radiogram of steel cord conveyor belt - failure of steel cords (Scholtz St 2500 belt)



Rys. 15. Radiogram taśmy z linkami stalowymi - uszkodzenia gumy (taśma St 2500 firmy Scholtz)
Fig. 15. Radiogram of steel cord conveyor belt - failure of rubber (Scholtz St 2500 belt)

Po przekroczeniu energii krytycznej (czyli energii powodującej pierwsze zniszczenie struktury taśmy) zależność ta traci swą aktualność. Na podstawie wyników pomiarów sporządzono wykresy przedstawiające zależność siły uderzenia od energii dla każdej grubości okładek taśmy i dla każdego rodzaju podparcia. Przykładowy wykres tej zależności przedstawiono na rys. 19. Krzyżyk na wykresie oznacza pojedynczy pomiar, natomiast krzyżyk w kółku oznacza, że dla kilku pomiarów uzyskano taki sam wynik.

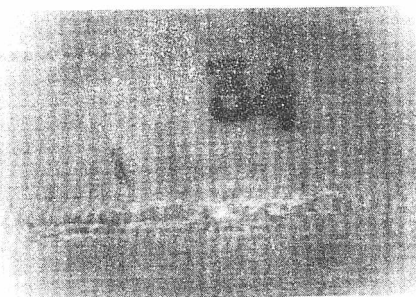
Rys. 16. Radiogram taśmy tekstylnej
- uszkodzenie przekładek
(taśma 1200/3)

Fig. 16. Radiogram of textile belt
- failure of plies (1200/3 belt)



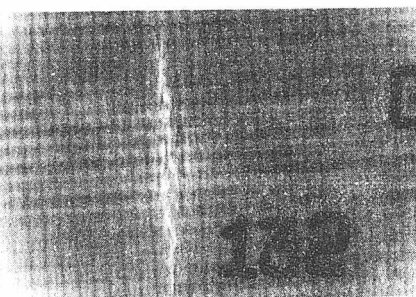
Rys. 17. Radiogram taśmy tekstylnej
- uszkodzenia przekładek i okładek
(taśma 1200/3)

Fig. 17. Radiogram of textile belt
- failure of plies and covers
(1200/3 belt)



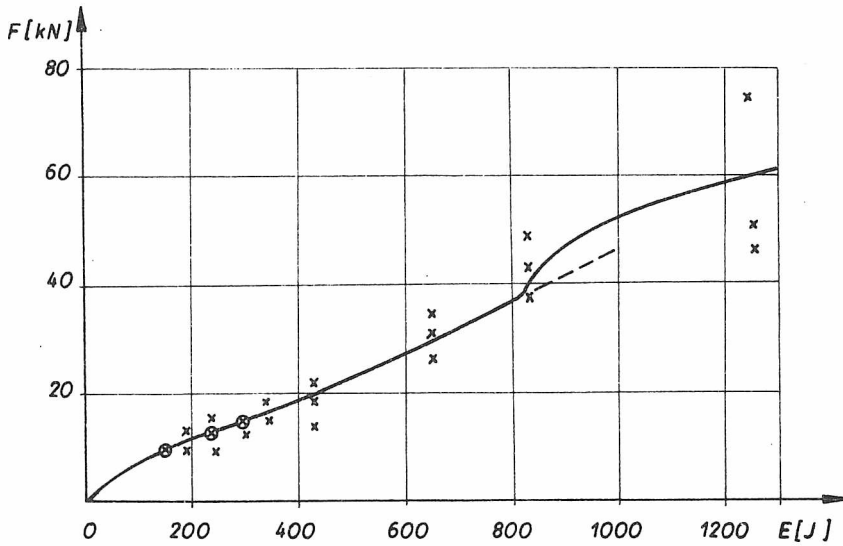
Rys. 18. Radiogram taśmy tekstylnej
- miejscowe przebicie pkt 13
(taśma 1200/3)

Fig. 18. Radiogram of textile belt
- local puncture item 13
(1200/3 belt)



Z analizy tych zależności wynika, że do momentu pierwszego przebicia taśmy zależność ta przebiega dość regularnie, prawie prostoliniowo. Natomiast po przekroczeniu energii pierwszego przebicia trudno już określić charakter otrzymanych zależności. Następują tu załamania wykresu, gwałtowne wzrosty lub spadki wartości siły. Ogólna jednak tendencja wzrostu wartości siły przy wzroście energii zostaje zachowana.

Z analizy tych zależności wynikają też pewne prawidłowości. Jeżeli porówna się wartości sił występujących przy tej samej energii uderzenia, dla tej samej taśmy ale przy różnych rodzajach jej podparcia, to okaże



Rys. 19. Zależność siły uderzenia od energii spadającej bryły
 Fig. 19. Impact force as a function of kinetic energy of falling body

się, że przy uderzeniu w krążnik z pierścieniami gumowymi siły są około dwukrotnie większe, a przy uderzeniu w taśmę sztywno podpartą (krążnik z płaszczem stalowym) dziesięciokrotnie większe od sił powstających podczas spadku na taśmę rozpiętą pomiędzy krążnikami. Można również zauważyć, że wzrost grubości okładek generalnie nie powoduje wzrostu wartości sił uderzenia występujących przy określonej energii spadku. Sama analiza tych zależności nie jest wystarczająca do porównania wytrzymałości na przebicie taśm o różnych parametrach geometrycznych i konstrukcyjnych. W celu przeprowadzenia takiego porównania trzeba rozpatrzyć siły i energię uderzenia łącznie z uszkodzeniami jakie one wywołują.

4.5.1.2. Zależność wielkości uszkodzeń taśmy od energii i siły uderzenia

Stosując zaproponowane skale stopni uszkodzeń [58], [59] oszacowano według radiogramów powstające uszkodzenia w gumie i linkach taśm. Na tej podstawie otrzymano zależności stopnia uszkodzeń od energii i siły uderzenia, które pozwalają na prześledzenie procesu powstawania uszkodzeń. Przykład takiej zależności przedstawiono na rys. 20. Zakresy energii (siły), w których prawdopodobne jest wystąpienie danego stopnia uszkodzenia oznaczono linią ciągłą. Pionowe linie przerywane oznaczają granicę tych przedziałów. Analiza przebiegów tych zależności prowadzi do wniosku, że nie można ściśle określić zależności pomiędzy stopniem uszkodzeń a energią lub siłą uderzenia, ze względu na złożoność procesu

zniszczenia w materiale niejednorodnym, jakim jest taśma. Możliwe jest jedynie określenie prawdopodobieństwa wystąpienia przy danej sile lub energii określonego stopnia uszkodzenia. Jako kryterium oceny odporności taśm na przebicie przyjęto więc najniższe wartości energii uderzenia oraz zarejestrowanych sił uderzenia, dla których uzyskano wyróżnione rodzaje uszkodzeń gumy, a mianowicie:

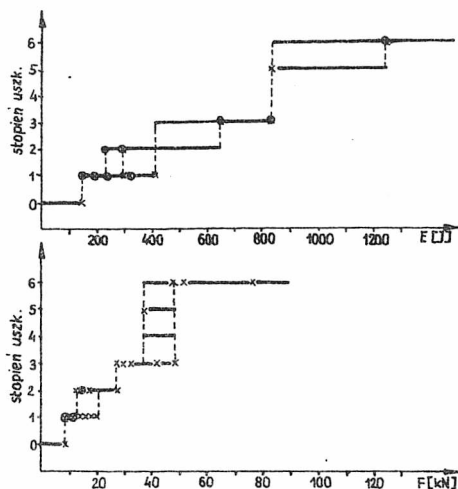
- pierwsze uszkodzenie gumy okładkowej,
- pierwsze przebicie taśmy na wylot.

Poddano analizie również charakter i wielkość otrzymanych uszkodzeń.

4.5.1.3. Wpływ uderzeń wielokrotnych na wielkość uszkodzeń

Rozpoczynając analizę uszkodzeń wywołanych wielokrotnymi uderzeniami w jeden punkt należy pamiętać o tym, że trafienia nie powtarzają się idealnie w tym samym miejscu lecz w pobliżu tego punktu. Idealne trafienie w ten sam punkt było niemożliwe do osiągnięcia stosowaną techniką pomiarów. Niemniej wyniki pomiarów wykazują, że nawet trafienia występujące blisko siebie osłabiają w decydujący sposób strukturę gumy i linki i w tych punktach powodują powstanie zwiększonych uszkodzeń. Jako przykład przedstawiono na rys. 21 wartości sił uderzenia, przy których powstaje czwarty stopień uszkodzeń gumy przy jednokrotnym i wielokrotnym uderzeniu.

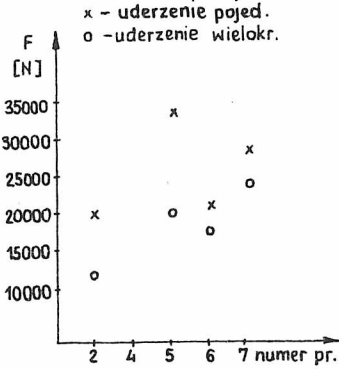
Na podstawie analizy otrzymanych zależności możemy stwierdzić, że wielokrotne uderzenia w gumę i linkę powodują obniżenie odporności na przebicie (przy danym stopniu uszkodzenia). Siły uderzenia powodujące ten sam stopień uszkodzenia gumy przy uderzeniu wielokrotnym są niższe od 20 do 42% w stosunku do sił przy trafieniach jednorazowych. Wartości sił uderzenia powodujące uszkodzenia linek tego samego stopnia spadają przy uderzeniach wielokrotnych od 32 do 41% w stosunku do wartości siły potrzebnej na uszkodzenie przy jednorazowym uderzeniu.



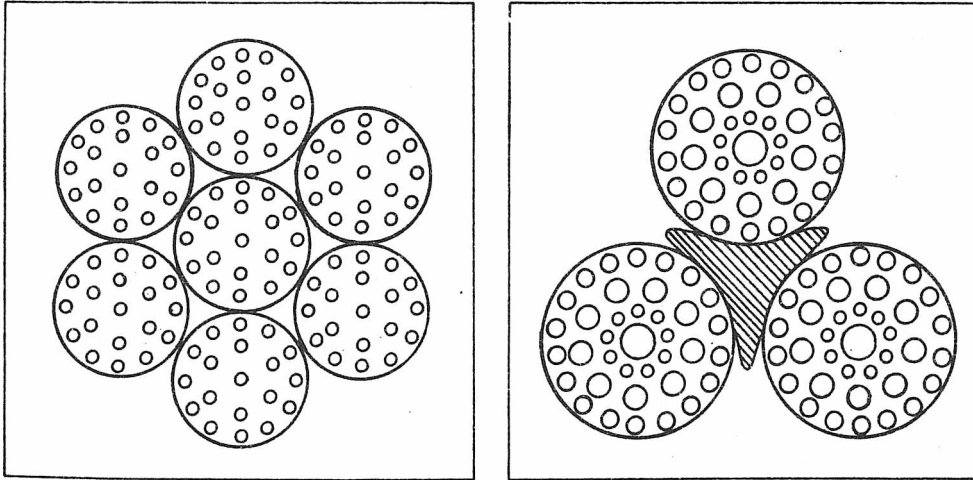
Rys. 20. Zależność stopnia uszkodzeń taśmy od energii i siły uderzenia
Fig. 20. Occurrence of rubber failure in a belt hit over an idler according to energy and force of impact

4.5.1.4. Wpływ rodzaju konstrukcji taśmy na jej odporność na przebicie

Porównano dwa typy taśm o tej samej wytrzymałości na rozciąganie lecz o różnej konstrukcji linek (rys. 22). Badania przeprowadzono na taśmach o wytrzymałości 3150 kN/m z tradycyjnym układem linek oraz na taśmach o linkach trójspłotkowych (firmy Saiag). Wyniki pomiarów wykonanych dla trzech sposobów podparcia taśmy podczas uderzenia przedstawiono w tab. 6.



Rys. 21. Wartości sił uderzenia powodujące czwarty stopień uszkodzenia gumy okładek
Fig. 21. 4th degree of rubber failure at impact



Rys. 22. Konstrukcja linki 3 splotkowej (taśma firmy Saiag) i tradycyjna 6-cio splotkowa
Fig. 22. Three-strand cables (Saiag belt) and traditional six-strand cables

Z porównania wyników badań wynika, że taśmy o linkach trójspłotkowych wykazują większą odporność na przebicie. Zarówno energia jak i siła uderzenia powodująca przebicie lub pierwsze uszkodzenie (z wyjątkiem uderzenia między krążniki) jest większa od analogicznej działającej na taśmę o tradycyjnej konstrukcji linek. Należy tu zaznaczyć, że gatunki gumy użyte na okładki obu typów taśm miały zbliżone parametry.

Wartości energii pierwszego uszkodzenia i energii przebiccia dla taśm St 3150 (w J)

Energia J Typ taśmy	I-sze uszkodzenia			Przebiccie taśmy		
	podpar- cie sztywne	krażnik nadawowy	między krażni- kami	podpar- cie sztywne	krażnik nadawowy	między krażni- kami
Saiag 3150	170	290	300	700	1470	1250
St 3150	150	200	380	440	1150	1000

4.5.1.5. Wpływ grubości okładek na odporność na przebiccie

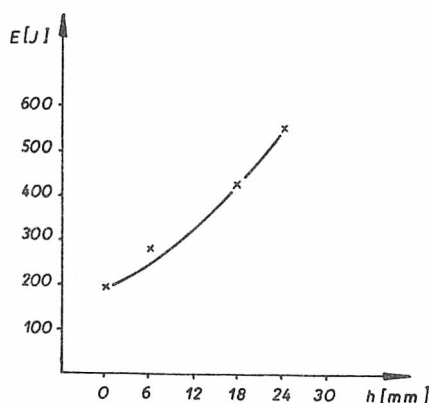
Analizę uszkodzeń powstających w taśmach o różnej grubości okładek przeprowadzono w funkcji siły i energii uderzenia dla uszkodzeń linek i gumy przy trzech sposobach podparcia taśmy. Wartości energii krytycznej przy której powstają pierwsze uszkodzenia w gumie oraz wartości energii przebiccia przedstawiono w tab. 7.

T a b e l a 7

Wartości energii pierwszego uszkodzenia i energii przebiccia dla taśmy St 2500 (w J)

Energia J Grubość okładek mm:mm	Rodzaj podparcia			
	Podparcie sztywne	Podparcie krażnikiem z pierście- niami gu- mowymi	Uderzenie między krażniki	
I uszko- dzenie	6:6	140	150	150
	12:6	-	240	370
	18:6	380	420	500
	24:6	440	630	500
przebiccie	6:6	570	830	850
	12:6	-	1250	1300
	18:6	1060	1250	1600
	24:6	1060	1250	1250

Analizę wpływu grubości okładek na uszkodzenia w linkach przeprowadzono tylko dla podparcia sztywnego, gdyż tylko przy tym podparciu uzyskano uszkodzenia linek. Zależność tę w funkcji energii przedstawiono na rysunku 23.



Rys. 23. Wpływ grubości okładek na energię wystąpienia pierwszego uszkodzenia linek
Fig. 23. Effect of the top cover thickness on the energy producing the first cable damage

Z przedstawionych zależności wynika, że grubość okładek jest parametrem decydującym o wytrzymałości taśmy na przebicie bez względu na rodzaj podparcia taśmy. W zakresie zmian grubości okładek od 0 do 18 mm stwierdzono szybki wzrost energii i siły wywołującej pierwsze uszkodzenia gumy, a także energii i siły pierwszego przebicia taśmy na wylot przy trzech sposobach podparcia. Dalszy wzrost grubości okładki nośnej w żadnym z wymienionych rodzajów podparcia nie zwiększył wytrzymałości na przebicie, a nawet wręcz spowodował jego spadek. Jedynie energia pierwszych uszkodzeń gumy wykazywała wyższe wartości w dwu

sposobach podparcia oraz przy pierwszych uszkodzeniach linek. Na tej podstawie można wnioskować, że dla taśm ST 2500 najkorzystniejsza, ze względu na przebicie, jest okładka grubości 18 mm. Stosowanie okładek grubszych wydaje się bezcelowe.

4.5.1.6. Wpływ rodzaju gumy okładkowej na odporność na przebicie

Analizę zależności przeprowadzono na podstawie wyników pomiarów wykonanych na taśmie typu St 2500 o okładkach jednakowej grubości (6 mm) wykonanych z trzech gatunków gumy. Własności gum okładek przedstawiono w tab. 8, a wyniki badań w tab. 9.

T a b e l a 8

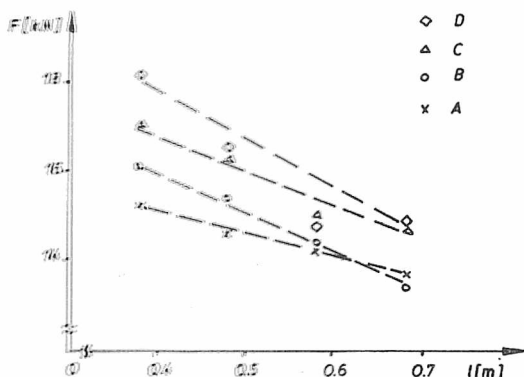
Własności gum, z których wykonano okładki taśm

Typy gumy	Wytrzymałość na rozciąganie N/mm^2	Wydłużenie przy zerwaniu %	Ścieralność mm^3	Twardość ° Sh
A	22,7	430	122	77
B	27,6	480	94	62
C	28,4	540	72	57

Z analizy wyników wynika, że własności gumy zastosowanej na okładki nośne mają pewien wpływ na wytrzymałość taśmy na przebicie. Spośród przebadanych trzech gatunków gumy w każdym wypadku uszkodzenia gumy i linek oraz podparcia, guma A wykazywała najlepszą odporność. Uszkodzenia linek w tej taśmie powstawały przy wyższych wartościach sił uderzenia (różnica o 3000 N między taśmą C i A). Kolejne stopnie uszkodzeń linek powstawały również przy działaniu większych sił na tę taśmę. Tę zdecydowanie lepszą odporność linek w taśmie o okładkach A stwierdzono również przy uderzeniach wielokrotnych.

Zależność tę potwierdziły również wyniki badań, które były prowadzone na stanowisku nr 3, gdzie dla różnych rozstawów krążników i różnych kształtów końcówki udarowej otrzymano wzrost wartości energii krytycznej dla taśm o okładkach A od 25% do 50% w stosunku do gumy B i C.

Guma oznaczona symbolem A w porównaniu z pozostałymi gatunkami ma mniejszą wytrzymałość na rozciąganie, mniejsze wydłużenie oraz większą ścieralność. Ma ona jednak największą twardość, co może mieć zasadniczy wpływ na odporność taśm na przebicie. Zagadnienie to nie jest jeszcze do końca wyjaśnione i wymaga dalszych badań.



Rys. 24. Zależność siły uderzenia od rozstawu krążników dla różnych kształtów końcówki udarowej (taśma St 1250)

Fig. 24. Impact force as a function of belt idler spacing for different shapes of impact head (St 1250 belt)

4.5.1.7. Wpływ kształtu końcówki udarowej na odporność na przebicie

Badania wpływu kształtu końcówki udarowej na odporność na przebicie przy uderzeniach między krążnikami o różnych rozstawach przeprowadzono na stanowisku badawczym nr 3. Kształt końcówek oznaczonych odpowiednio A, B, C, D pokazano na rys. 11.

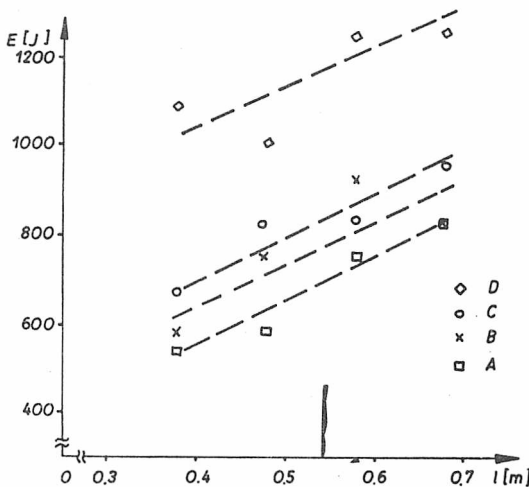
Zależność wpływu kształtu końcówki bijaka na wartość siły uderzenia oraz na energię przebicia przedstawiono na rys. 24. Jak wynika z tych za-

leżności, wpływ kształtu końcówki bijaka na wartość energii przebicia taśmy jest znaczny, gdyż wartość tej energii rośnie o 9% dla końcówki B, o 24% dla końcówki C i aż około 100% dla końcówki D w porównaniu z wartościami energii przebicia przy końcówce bijaka A. Zależność ta ma charakter powtarzalny dla wszystkich wartości rozstawu krążnikowego i dla różnej grubości okładek.

4.5.1.8. Wpływ sposobu podparcia taśmy na odporność na przebicie

Poddano analizie wyniki pomiarów wykonanych dla podparcia sztywne-go, podparcia krążnikiem z pierścieniami gumowymi oraz uderzenia pomiędzy krążniki.

Na podstawie wyników można stwierdzić, że uszkodzenia gumy powstające przy obciążeniu udarowym taśm na sztywnym podparciu oraz taśm podpartych krążnikiem z pierścieniami gumowymi mają podobny charakter. W tych warunkach powstają lokalne, nieregularne pęknięcia i dziury o średnicy nie większej niż 50 mm. Uderzenia skierowane w taśmę pomiędzy krążniki powodują natomiast długie pęknięcia gumy, a nawet wyrwanie gumy spomiędzy linek o długości dochodzącej do kilkunastu centymetrów. Znamienny jest fakt uzyskania uszkodzeń linek jedynie w taśmach podpartych sztywno. W taśmach obciążonych udarowo nad krążnikiem z pierścieniami gumowymi na ok. 300 punktów pomiarowych tylko w 14 wystąpiły uszkodzenia linek. Uderzenia w taśmę nie podpartą pomiędzy krążnikami nie spowodowały żadnego uszkodzenia linek, mimo że w obu wypadkach energia uderzenia o-



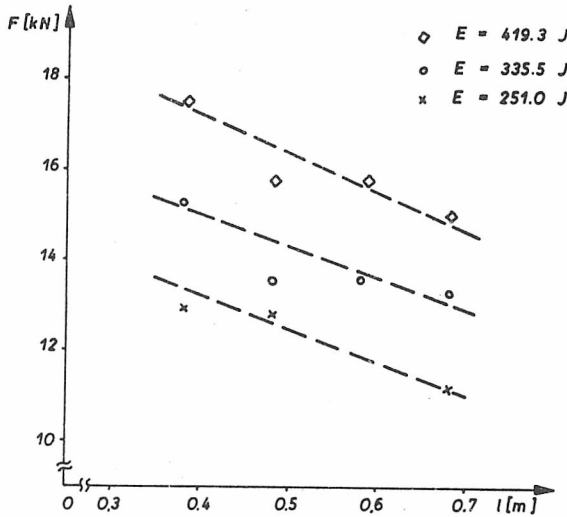
Rys. 25. Zależność energii przebicia taśmy od rozstawu krążników dla różnych kształtów końcówki udarowej (taśma St 1250)

Fig. 25. Belt puncture energy as a function of belt idler spacing for different shapes of impact heads

sięgała wartości, przy których na podparciu sztywnym linki niszczone były całkowicie. Wynika stąd wniosek, że zastosowanie krążników z pierścieniami gumowymi niemal zupełnie eliminuje uszkodzenie linek. Nawet przy największej energii, rzędu 2000 J, ciężar ześlizguje się z linek nie uszkadzając ich, przecina jedynie gumę między linkami na wylot. Bryła o takiej energii, uderzająca centrycznie w linkę (osłoniętą nawet 24-milimetrową okładką) nad krążnikiem z płaszczem stalowym, niszczy ją. Wartości sił rejestrowanych dla taśm na sztywnym podparciu są około pięciokrotnie większe od sił hamowania bijaka przez taśmy uderzane nad krążnikiem z pierścieniami gumowymi i dziesięciokrotnie większe niż przy uderzeniu pomiędzy krążniki. Inny jest również czas trwania impulsu siły. Wynosi on dla uderzeń pomiędzy krążniki 30-80 ms, dla uderzeń w krążnik z pierścieniami gumowymi 30-50 ms, przy podparciu sztywnym taśmy 10-20 ms. W ostatnim wypadku jest więc zdecydowanie najkrótszy, a zatem stwarza największe zagrożenie dla taśmy.

Energia krytyczna, przy której powstają pierwsze uszkodzenia gumy jest najniższa dla taśm na sztywnym podparciu. Dla taśm poddanych działaniu uderów skierowanych w krążnik z pierścieniami gumowymi przyjmuje ona większe wartości, a największa jest w przypadku uderzeń między krążniki. Podobne zależności wykazuje energia, która powoduje pierwsze przebicie gumy na wylot. Wynika stąd wniosek, że zastosowanie krążników z pierścieniami gumowymi zamiast krążników z płaszczem stalowym zwiększa, w razie centrycznego uderzenia w krążnik, energię krytyczną, która powoduje pierwsze uszkodzenia gumy średnio w 10-40%. Podobnie dla krążników z pierścieniami gumowymi większa jest energia pierwszego przebiccia gumy na wylot o 11-45%. Wartości energii pierwszego uszkodzenia gumy oraz pierwszego jej przebiccia na wylot są większe w wypadku uderzania pomiędzy krążniki niż w wypadku uderzeń w krążnik z pierścieniami gumowymi średnio o 20%. Natomiast siły powodujące pierwsze uszkodzenia gumy przy uderzeniu w krążnik z płaszczem gumowym są o 25-50% większe od analogicznych sił przy uderzeniu między krążniki.

W dotychczasowej analizie przyjmowano stałą wartość rozstawu krążników przy uderzeniach w krążnik i między krążniki. Badania przeprowadzone na stanowisku badawczym nr 3 (rys. 26) wykazały, że również wartość rozstawu krążnikowego wpływa na wielkość sił uderzenia. Należy tu dodatkowo zaznaczyć, że w analizie tej uwzględniono jedynie wartości sił uderzenia do momentu wystąpienia pierwszych uszkodzeń, tzn. kiedy na oscylogramie zapis siły jest symetryczny. Poza tym zakresem za wielkości miarodajne do oceny procesu uszkodzeń przyjmuje się wartości energii uderzenia, gdyż zapis siły uderzenia jest bardzo nieregularny, co powoduje zaciemnienie przebiegu zjawiska i określenia zależności. Jak wynika z zależności pokazanej na rys. 26 wartość siły uderzenia spada o około 16% kiedy odległość zestawu krążnikowego rośnie o 80%. Zależ-



Rys. 26. Zależność siły uderzenia od rozstawu krążnikowego dla różnych wartości energii (końcówka pomiarowa D)
 Fig. 26. Impact force as a function of belt idler spacing for different values of energy (tester D)

ność tę potwierdzają wyniki badań dla różnych poziomów energii uderzenia oraz przy różnych kształtach końcówki uderowej.

4.5.2. Analiza wyników badań eksperymentalnych taśm tekstylnych

Wyniki badań eksperymentalnych taśm tekstylnych pozwoliły na przeanalizowanie wielu zależności.

4.5.2.1. Zależność siły uderzenia od energii spadającej bryły

Z analizy tych zależności wynika, że wartości sił oddziaływania między taśmą a spadającym elementem (bijakiem) w wypadku uderzenia bezpośrednio nad krążnikiem są zdecydowanie większe niż w razie uderzenia między krążnikami, przy czym różnica wartości tych sił zależy od konstrukcji taśmy. Generalnie, taśmy o konstrukcji tradycyjnej (wieloprzeładowe) TK 500/3, TK 800/4 i Roulands 1200/3 wykazują większą rozbieżność między siłą uderzenia bezpośrednio nad krążnikiem i siłą uderzenia między krążnikami niż taśma jednoprzekładowa Colmant 1000/1. Wynika to z odmiennej konstrukcji taśmy. Tym samym inna jest zdolność taśmy do przejmowania różnych form energii towarzyszących zjawisku obciążania uderowego.

Najogólniej biorąc, energia kinetyczna bijaka (lub bryły) w chwili maksymalnego ugięcia taśmy przechodzi całkowicie w energię odkształcenia sprężystego taśmy (jest to energia ugięcia taśmy między krążnikami) i energię rozproszenia w strefie kontaktu taśmy z elementem uderzającym.

Ta druga składowa energii pozostaje częściowo bezpowrotnie w taśmie i powoduje między innymi rozproszenie pewnej ilości ciepła oraz ewentualnie uszkodzenie elementów taśmy. W razie sztywnego podparcia taśmy lub uderzenia w taśmę bezpośrednio nad krążnikiem, ta składowa energii ma znaczenie decydujące w rozpatrywanym zagadnieniu. W wypadku uderzenia między krążnikami poprzez ugięcie odcinka taśmy między punktami podparcia sama taśma zdolna jest przejąć znaczną część energii bijącej w formie energii zginania i rozciągania, a tym samym odciążać punkt uderzenia, zmniejszając jednocześnie udział pozostałej składowej. Im większa będzie sztywność zginania taśmy, tym większa będzie wartość energii ugięcia taśmy, a tym samym udział drugiej składowej, czyli energii rozproszenia w strefie kontaktu taśmy z bijakiem będzie mniejszy. Należy oczekiwać wówczas mniejszych wartości sił uderzenia oraz większych różnic między siłą uderzenia bezpośrednio nad krążnikiem (lub przy sztywnym podparciu) a siłą uderzenia między krążnikami. Dlatego też dla taśm wieloprzekładowych o konstrukcji tradycyjnej, mających większą sztywność zginania niż taśma jednoprzekładowa, zarejestrowano istotnie większe różnice sił uderzenia w różnych warunkach podparcia.

4.5.2.2. Wpływ konstrukcji rdzenia taśmy na jej odporność na przebicie

Przy porównywaniu wytrzymałości na przebicie wzięto pod uwagę taśmy o takiej samej lub zbliżonej wytrzymałości na zerwanie. Porównując taśmy o wytrzymałości 500 kN/m można stwierdzić, że taśma o konstrukcji dwuprzekładowej osiąga na krążnikach i na sztywnym podparciu wyższą wytrzymałość od taśmy tradycyjnej trójprzekładowej. Jedynie podczas uderzeń między krążnikami uszkodzenia w taśmie dwuprzekładowej powstają przy zdecydowanie niższych wartościach energii (tab 10). Można to wytłu-

T a b e l a 10

Wartość energii pierwszego uszkodzenia

Oznaczenia taśmy	Energia pierwszych uszkodzeń taśmy		
	między krążnikami	na krążniku	na sztywnym podparciu
	J	J	J
Scholtz 500/2	176	346	79
taśma TK 500/3	807	276	52
taśma TK 800/4	542	276	131
Colmant 1000/1	807	542	169
Roulands 1200/3	711	542	136

maczyć tym, że taśma tradycyjna ma znacznie większe wydłużenia od konstrukcji dwuprzekładowej, co podczas udaru powoduje większe ugięcie taśmy między krążnikami i straty energii na wykonanie tej pracy. Po porównaniu taśmy 1000/1 i 1200/3 można stwierdzić wyższą wytrzymałość na przebicie taśmy o konstrukcji jednoprzekładowej. Taśma ta, mająca wytrzymałość na zrywanie niższą od tradycyjnej taśmy trójprzekładowej, osiąga wytrzymałość na przebicie równą taśmie trójprzekładowej lub wyższą. W jednym tylko wypadku - uderzeń pomiędzy krążniki przy przebicciu - taśma jednoprzekładowa osiąga trochę niższe wartości energii przebicia od taśmy Roulands 1200/3. Taśma Roulands ze względu na swoją konstrukcję posiada większą sztywność przy zginaniu i wykazuje większe wydłużenie wzdłużne od taśmy jednoprzekładowej. Powoduje to wzrost wartości energii ugięcia taśmy kosztem drugiej składowej, czyli energii rozproszenia w strefie kontaktu z bijakiem.

Część energii uderzenia, która może powodować uszkodzenia, jest dla taśmy Roulands niższa niż dla taśmy Colmant, dlatego też wyższą wartość energii przebicia pomiędzy krążnikami wykazuje taśma tradycyjna. Istotny wydaje się fakt, że przy uderzeniach w stalowy stolik, który najlepiej odwzorowuje wpływ parametrów samej taśmy (eliminuje się niecentryczne uderzenia w krążnik itp.) taśma jednoprzekładowa osiąga wyjątkowo wysokie wartości energii krytycznych w porównaniu z innymi taśmami o tradycyjnej konstrukcji rdzenia.

4.5.2.3. Wpływ sposobu podparcia taśmy tekstylnej na jej odporność na przebicie

Badania eksperymentalne przeprowadzono na próbkach taśm podpartych w miejscu uderzenia bijaka elastycznymi zestawami krążników nadawowych

T a b e l a 11

Zestawienie parametrów badanych taśm

Oznaczenie taśmy	Wytrzymałość na zerwanie	Liczba prze-kładek	Grubość taśmy	Grubość okładki nośnej	Grubość okładki bieżnej	Szerokość taśmy
	kN/m	-	mm	mm	mm	mm
A	2000	5	22	7	4	1200
B	2066	4	22	8,5	3,5	1200
C	1733	5	20	6	3	2000
D	725	4	14	0-4,5	0-3	1000

lub nową konstrukcją podparcia taśmy zbudowaną z belek gumowych (rys. 9). Dla każdej próbki przeprowadzono pomiary uderzenia na krążnikach nadawowych lub przy uderzeniach kierowanych między zestawy krążnikowe. Dla próbek

T a b e l a 12

Wartości energii pierwszych uszkodzeń przy różnych rodzajach podparcia

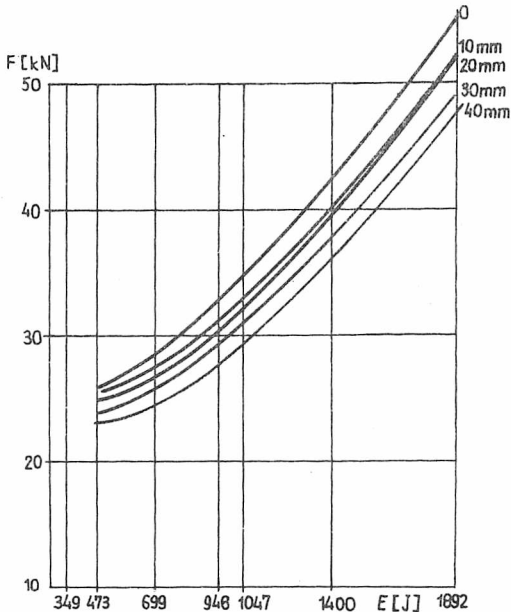
Oznaczenie taśmy	Taśma podparta zestawami krążnikowymi		Taśma podparta belkami				
	uderzenie między krążniki	uderzenie w krążnik	taśma na belkach	taśma 10 mm nad belkami	taśma 20 mm nad belkami	taśma 30 mm nad belkami	taśma 40 mm nad belkami
	Energia pierwszego uszkodzenia przekładki (J)						
A	1381	908	473	473	698	698	-
B	1381	1381	698	698	698	946	946
C	1019	908	946	946	946	946	-
D	1381	1854	946	1047	1396	946	946
Energia pierwszego uszkodzenia okładki (J)							
A	1381	1019	946	946	946	898	-
B	2066	1381	1396	1419	1396	1396	1047
C	1717	1368	1047	1396	1396	1396	-
D	3273	1854	1419	1419	1892	1892	1892

taśm podpartych belkami gumowymi przeprowadzano natomiast pomiary przy zmiennej odległości taśmy od belek, poczynając od ułożenia taśmy na belkach a następnie unosząc ją na wysokość 10, 20, 30, 40 mm ponad ich powierzchnię. Parametry taśm, z których wykonano próbki do badań, podano w tab. 11. Wyniki pomiarów zestawiono w tab. 12.

Po zanalizowaniu otrzymanych wyników można stwierdzić, że energie pierwszego uszkodzenia przekładki i gumy okładkowej są wyższe podczas dokonywania uderzeń w krążnik z pierścieniami gumowymi lub też w przybliżeniu równe odpowiednim energiom otrzymanym dla taśm podpartych konstrukcją z belkami gumowymi. Dla taśm A, B i D energie pierwszego uszkodzenia przekładki, w wypadku podparcia belkami, wynoszą 50-70% energii przy uderzeniu w krążnik, ich odporność na uszkodzenie przekładki jest więc znacznie większa w wypadku podparcia zestawami krążnikowymi. Dla taśm C wartości energii uszkodzenia przekładek są zbliżone, można więc przyjąć, że wykazuje ona jednakową odporność na uszkodzenie przekładki w obu przypadkach podparcia. Przy podparciu taśm zestawami krążnikowymi w punkcie nadawy, uderzenie bryły urobku w taśmę w miejscu podparcia jej krążnikiem jest najbardziej niebezpieczne. Dynamiczna siła reakcji taśmy jest, w tym wypadku, około dwukrotnie większa niż przy uderzeniu pomiędzy krążniki. Jednocześnie jednak uderzenie bryły w osi krążnika jest znacznie mniej prawdopodobne niż uderzenie pomiędzy krążnikami. Aby więc uzyskać pełne porównanie dwóch omawianych rodzajów podparcia taśmy, należy jeszcze porównać energię uszkodzenia dla taśm podpartych belkami z odpowiednią energią przy uderzeniu pomiędzy krążnikami. Analiza tabeli 12 prowadzi do wniosku, że zarówno energia uszkodzenia przekładki jak i okładki jest, dla podparcia belkami, niższa i wynosi 34% do 93% odpowiedniej energii przy uderzeniu pomiędzy krążniki. Trudniej zatem uszkodzić taśmę na odcinku pomiędzy zestawami krążnikowymi, niż taśmę zawieszoną nawet 40 mm ponad belkami.

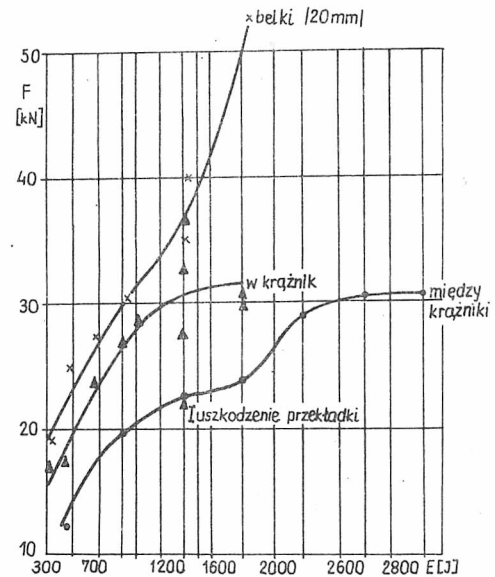
Dalszy wniosek, wynikający z analizy, dotyczy optymalnej wysokości uniesienia taśmy nad belkami. Wysokość ta, w wypadku zastosowania podparcia z belek gumowych, powinna wynosić 20-30 mm. Przy mniejszych wysokościach energie uszkodzenia taśmy są, w większości wypadków, mniejsze, natomiast zwiększanie tej wysokości ponad 30 mm nie przynosi pożądanego efektu w postaci wzrostu energii pierwszego uszkodzenia.

Dla każdej z badanych taśm sporządzono wykresy zależności siły uderzenia od energii kinetycznej białka w chwili zetknięcia się z taśmą dla każdego rodzaju podparcia. Przykładowo wykresy takie przedstawiono na rys. 27 i 28. Wykresy zależności siły reakcji taśmy od energii uderzenia pozwalają przewidzieć w przybliżeniu wielkości sił maksymalnych w taśmie, z jakimi trzeba się liczyć przy określonej wysokości zrzutu i znanej masie brył spadających na taśmę o określonych parametrach. Po-



Rys. 27. Zależność siły uderzenia od energii spadku bijaka (taśma D podparcie belkami)

Fig. 27. Impact force as a function of energy of measuring head fall (belt D beam supporting)



Rys. 28. Zależność siły uderzenia od energii spadku bijaka (taśma D różne przypadki podparcia)

Fig. 28. Impact force as a function of energy of measuring head fall (belt D. different types of supporting)

równanie wielkości sił uderzenia, uzyskanych przy tej samej energii bijaka dla różnych taśm lub różnych rodzajów podparcia, pozwala na wyciągnięcie wniosków, dotyczących sztywności taśmy bądź podparcia. Zarówno dla sztywniejszych taśm jak i sztywniejszych konstrukcji podpierających taśmę w miejscu uderzenia, maksymalne wartości rejestrowanych sił są wyższe, a czasy trwania impulsu siły - krótsze.

Na rysunku 27 zestawiono wykresy zależności siły uderzenia od energii bijaka dla taśmy D, podpartej belkami umieszczonymi 0, 10, 20, 30 i 40 mm pod taśmą. Krzywe na rysunku przebiegają w przybliżeniu równolegle. Siły uzyskana dla taśmy umieszczonej 40 mm nad belkami są około 20% niższe od sił zarejestrowanych dla taśmy leżącej bezpośrednio na belkach.

Na rysunku 28 porównano wykresy zależności siły uderzenia od energii bijaka dla taśmy D uderzanej pomiędzy krążnikami, nad krążnikiem oraz umieszczonej 20 mm nad belkami. W pobliżu tych punktów następuje załamanie krzywych siła-energia. Dla energii niższych od energii pierwszego uszkodzenia, krzywe - niezależnie od rodzaju podparcia - mają podob-

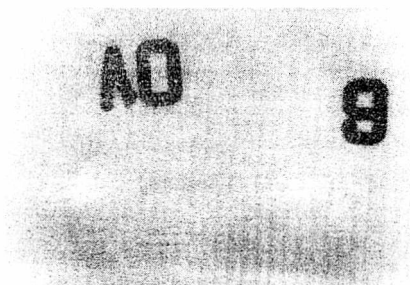
ny kształt. Różnią się wartościami sił przy tych samych energiach. I tak: siły przy uderzeniach pomiędzy krążniki stanowią średnio 48% sił na podparciu z belek i 58% sił przy uderzeniach w krążnik. Siły, przy uderzeniu w taśmę umieszczoną 20 mm nad belkami, są średnio o 18% wyższe od sił przy uderzeniu w taśmę nad krążnikiem. Wynika stąd, że konstrukcja złożona z belek gumowych jest sztywniejsza od tradycyjnego przegubowego zestawu krążników z pierścieniami gumowymi.

4.5.2.4. Analiza charakteru uszkodzeń

Pomiary przeprowadzone w każdym z rozpatrywanych w tej pracy przykładów podparcia taśmy (rys. 29-34) dały wyniki różniące się zasadniczo



Rys. 29. Uszkodzenie w taśmie na podparciu sztywnym (taśma 800/4)
Fig. 29. Failure in the belt with rigid supporting (800/4 belt)



Rys. 30. Uszkodzenie w taśmie podpartej krążnikami nadawowymi (taśma 1200/3)
Fig. 30. Failure in the belt with impact idlers (1200/3 belt)



Rys. 31. Uszkodzenie taśmy podpartej belkami (taśma 800/4)
Fig. 31. Failure in the belt with beam supporting (800/4 belt)

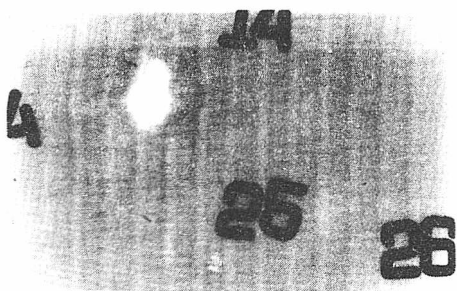


Rys. 32. Uszkodzenie taśmy obciążonej pomiędzy zestawami krążnikowymi (taśma 800/4)
Fig. 32. Failure in the belt loaded between rubber cushion impact idlers (800/4 belt)

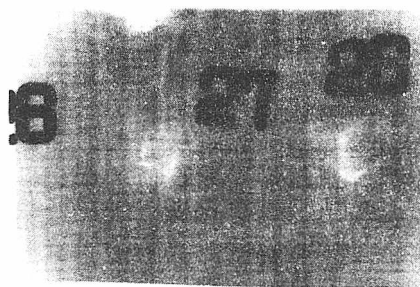
pod względem charakteru powstałych uszkodzeń, kształtu impulsów i wartości sił oraz energii krytycznych. Uszkodzenia okładek i przekładek powstające przy obciążeniu uderowym taśm ułożonych na sztywnym podparciu mają charakter lokalnych nieregularnych pęknięć i dziur o średnicy nie większej niż 20 mm (rys. 29). Uszkodzenia taśmy nad krążnikiem z pierścieniami gumowymi mają charakter podobny do uszkodzeń przy sztywnym podparciu tylko wówczas, gdy bijak uderza w taśmę w osi krążnika. W razie uderzeń nieosiowych otrzymano uszkodzenia większe, bardziej nieregularne, o średnicy do 50 mm (rys. 30), uszkodzenia okładek i przekładek taśm podpartych belkami (rys. 31) mają charakter podobny do uszkodzeń na sztywnym podparciu.

Uszkodzenia taśm w wyniku uderzeń skierowanych pomiędzy krążniki mają odmienny charakter (rys. 32). Uszkodzenia przekładek powstają w tym wypadku przy niższych wartościach energii niż uszkodzenia okładek. Wewnętrzne uszkodzenia przekładek osiągają znaczne rozmiary (długości rzędu od kilku do kilkunastu centymetrów) i objawiają się na zewnątrz taśmy wypukleniem okładki. Tego typu uszkodzenia są groźne, gdyż osłabiają strukturę taśmy na dużej przestrzeni.

Z porównania poszczególnych taśm wynika, że charakter ich uszkodzeń zależy również od konstrukcji taśmy. Szczególnie uszkodzenia taśmy jednoprzekładowej (Colmant 1000/1) różnią się od pozostałych, gdyż niezależnie od rodzaju podparcia mają one lokalny charakter (niewielką powierzchnię), co pokazano na rys. 29, 33 i 34.



Rys. 33. Uszkodzenie taśmy na podparciu sztywnym (taśma jednoprzekładowa)
Fig. 33. Failure in the belt with rigid support (single-ply belt)



Rys. 34. Uszkodzenie taśmy podpartej krążnikiem nadawowym (taśma jednoprzekładowa)
Fig. 34. Failure in the belt with belt impact idler support (single-ply belt)

4.6. Podsumowanie wyników badań

Przedstawione wyniki badań eksperymentalnych oraz otrzymane z badań zależności stanowią bazę danych w modelu symulacyjnym. Na podstawie badań eksperymentalnych określono zależności energii krytycznej od parametrów taśm, parametrów konstrukcyjnych przenośnika oraz własności transportowanego materiału dla całego typoszeregu taśm z linkami stalowymi stosowanych w krajowym górnictwie od typu St 1250 do typu 3150. Również w zakresie taśm tekstylnych wyniki badań obejmują najbardziej popularne typy taśm od taśm o wytrzymałości 800 kN/m czy 1000 kN/m stosowanych w krajowym górnictwie węgla kamiennego do taśm typu TP-wz o wytrzymałości 2000 kN/m stosowanych w górnictwie rud miedzi.

Z przeprowadzonych badań można wysunąć następujące wnioski szczególne:

1. Grubość przekładek taśm jest parametrem mającym istotny wpływ na wielkość powstających uszkodzeń zarówno w taśmach z linkami stalowymi jak i w taśmach tekstylnych we wszystkich rodzajach uszkodzeń przy różnych sposobach podparcia taśmy.

2. Najwyższe wartości energii krytycznej oraz energii pierwszego przebiccia otrzymano przy każdym rodzaju podparcia dla taśm tekstylnych jednoprzekładekowych (typ 1000/1 Colmant). Wytrzymałość ta przewyższała wartości uzyskiwane dla taśm trójprzekładekowych o wyższej wytrzymałości na rozciąganie (np. 1200/3 Roulands).

3. Porównanie wyników badań taśm tekstylnych o wytrzymałości 500 kN/m dowodzi lepszej odporności na przebiccie taśmy dwuprzekładekowej niż taśmy tradycyjnej (trójprzekładekowej).

4. Taśmy z linkami stalowymi o konstrukcji linek trójspłotowej charakteryzują się lepszą wytrzymałością na przebiccie od taśm o linkach sześciopłotowych.

5. Własności gumy zastosowanej na okładki nośne taśm mają wpływ na ich wytrzymałość na przebiccie. Szczególnie istotnym parametrem wydaje się twardość gumy.

6. Siły uderzenia powodujące ten sam stopień uszkodzenia gumy przy uderzeniach wielokrotnych są mniejsze o 24 do 42% w stosunku do siły przy trafieniach jednorazowych. Wartości sił uderzenia powodujące uszkodzenia linek tego samego stopnia spadają przy uderzeniach wielokrotnych od 32 do 41% w stosunku do wartości siły potrzebnej na uszkodzenie przy jednorazowym uderzeniu.

7. Rodzaj podparcia taśmy poddanej działaniu obciążeń udarowych decyduje o charakterze uszkodzeń powstających w taśmach.

8. Zastosowanie krążników z pierścieniami gumowymi ogranicza a nawet eliminuje uszkodzenia linek, natomiast przy uderzeniach między krążnikami uszkodzeń linek nie wykryto.

9. Zastosowanie krążników z pierścieniami gumowymi do taśm tekstylnych ogranicza powstające uszkodzenia w taśmach do miejscowych przecięć lub przebić. Uszkodzenia między krążnikami wywołują długie przecięcia nici wątki.

10. Zastosowanie podparcia z belek gumowych powoduje powstawanie uszkodzeń o takim charakterze jak na krążnikach z pierścieniami gumowymi.

11. Optymalna ze względu na odporność na przebicie wysokość uniesienia taśmy ponad powierzchnię belek wynosi 20-30 mm.

12. Wartości sił rejestrowanych dla taśm na sztywnym podparciu są około pięciokrotnie wyższe od sił uderzenia w krążnik z pierścieniami gumowymi i dziesięciokrotnie wyższe niż w przypadku uderzenia pomiędzy krążnikami.

13. Impulsy siły uderzenia zarejestrowane na podparciu z belek gumowych odznaczają się wyższą amplitudą (18%) i krótszym czasem trwania od podobnych impulsów przy podparciu krążnikami z pierścieniami gumowymi.

14. Wartości sił uderzenia maleją wraz ze wzrostem rozstawu krążników w badanym zakresie o 15% wielkości początkowej.

15. Wartości sił uderzenia, przy których powstają pierwsze uszkodzenia rosną wraz z kątem zaokrąglenia bijaka od 6-20% w stosunku do bijaka A. Wartości energii przebicia rosną od 9 do 100% dla kolejnych promieni zaokrąglenia w stosunku do bijaka A.

16. Czas trwania impulsu siły jest odpowiednio: 30-80 ms pomiędzy krążnikami, 30-50 ms przy uderzeniu w krążnik z pierścieniami gumowymi oraz 10-20 ms przy podparciu sztywnym.

5. WERYFIKACJA MODELU

Celem weryfikacji modelu jest wskazanie, czy przebiegi czasowe generowane przez komputer są wystarczająco zgodne z obserwowanymi rzeczywistymi przebiegami, aby zgodność ta nie mogła być przypisana tylko przypadkowi. Istnieje wiele miar i metod sprawdzania "dobroci dopasowania" modelu symulacyjnego, to jest stopnia dopasowania symulowanych szeregów czasowych do rzeczywistych danych [99]. W niniejszej pracy zastosowano weryfikację statystyczną i graficzną.

Jako dane rzeczywiste zostały przyjęte wyniki prowadzonych obserwacji i badań trwałości taśm na przenośnikach w kopalni rud miedzi "Rudna" zebranych w latach 1980-1985 [71], [126]. Przy analizie trwałości taśm typu TP-wz o jednakowych parametrach geometrycznych i wytrzymałościowych uwzględniono wpływ następujących czynników: typ przenośnika (Gwarek, Legmet, Poltegor), rodzaj przenośnika (stały, rewersyjny), długość przenośnika (30-1370 m), prędkość taśmy (2,15 m/s, 2,5 m/s, 2,9 m/s), wysokość spadku urobku na przesypie (0,6 m i 1,2 m), rodzaj transportowanego urobku (wyróżniono dwa rodzaje urobku ze względu na procentową zawartość brył o określonych wymiarach), szerokość taśmy (1000 mm, 1200 mm, 1400 mm). Rozpatrywano też trwałość taśm w zależności od przyczyn zdjęcia taśmy (naturalne zużycie, rozwarstwienie, przecięcie taśmy i inne). W badanym okresie w kopalni "Rudna" zdjęto z przenośników 47 km taśm.

W celu stwierdzenia, które z rozpatrywanych czynników miały istotny wpływ na trwałość taśmy, przeprowadzony został test sumy rang weryfikujący hipotezę, że taśmy zgrupowane w opisanych klasach pochodzą z jednej populacji. Istotny wpływ na różnicowanie się trwałości taśm stwierdzono dla następujących cech: typu przenośnika, prędkości taśmy, długości przenośnika i rodzaju urobku. Wpływ typu przenośnika na trwałość taśmy nie był analizowany, gdyż badane przenośniki rewersyjne są znacznie krótsze (30-40 m) od stałych (średnia długość ponad 700 m). Stwierdzenie wpływu prędkości taśmy na trwałość jest dosyć oczywiste, gdyż w tym samym czasie taśma na przenośnikach o jednakowej długości a różnej prędkości wykonuje różną ilość obiegów wokół przenośnika. Wpływ rodzaju urobku na trwałość taśmy udowodniony został wcześniej, między innymi przez autorkę niniejszej pracy [24], [52], lecz brak jest ilościowego określenia tej zależności. W tej sytuacji za najbardziej miarodajną zależność uznano wpływ długości przenośnika na trwałość taśmy i tę zależność weryfikowano dla danych rzeczywistych i porównywano z przebiegami symulacyjnymi. Jako miarę trwałości nie przyjęto tu czasu kalendarzowego pracy taśmy lecz przeliczono trwałość na liczbę cykli obiegu taśmy do jej zdjęcia z przenośnika. Miara trwałości wyrażona w cyklach ma tę zaletę, że nie zależy już bezpośrednio od prędkości taśmy i przyporządkowuje kolejnym odcinkom taśm wartości rzeczywiste.

Podczas weryfikacji modelu rozpatrywano jedynie taśmy zdjęte z powodu naturalnego zużycia. Rozwarstwienia i rozcięcia wzdłużne zostały pominięte na tym etapie. Rozpatrywane odcinki taśm, w liczbie 187, zdjęte były z przenośników o 23 różnych długościach od 250 m do 1370 m. Trwałość odcinków mierzona była w miesiącach z dokładnością do jednego miejsca po przecinku. Przeliczenie czasu kalendarzowego na cykle odbyło się przy założeniu pracy wszystkich rozpatrywanych przenośników wyko-

Rzeczywista trwałość taśm na przenośnikach

Długość przenośnika, m	Liczba odcinków taśm	Średnia liczba cykli \bar{x}	Mediana \bar{x}	Wariancja \bar{x}	Standardowe odchylenie \bar{x}
250	4	291.629	285.480	7470.52	86.4322
270	2	250.100	250.100	10597.7	102.945
330	4	191.335	197.485	668.036	25.8464
380	8	143.072	135.444	765.027	27.6591
408	6	169.563	145.224	3454.64	58.7762
448	9	203.977	204.358	2954.02	54.3509
450	10	144.594	146.888	1743.43	41.7544
495	7	118.474	113.697	700.484	26.4667
500	8	182.213	172.166	1404.63	37.4785
525	6	151.308	135.108	1819.15	42.6515
600	5	119.023	118.950	359.230	18.9534
610	10	167.657	190.225	2131.00	46.1628
650	6	146.377	149.696	630.043	25.1007
680	1	115.430	115.430	0,0000	0.0000
700	4	92.5310	88.1470	305.959	17.4917
730	9	142.609	137.225	1738.92	41.7004
780	7	125.701	137.494	918.286	30.3032
800	8	109.333	107.205	310.512	17.6213
860	8	142.447	155.770	873.257	29.5509
875	9	107.113	109.809	990.084	31.4656
950	30	92.7174	81.3493	923.708	30.3926
1198	11	70.9670	70.8413	180.477	13.4342
1370	15	58.4853	57.7600	127.824	11.3059

\bar{x} - w tysiącach

rzystujących 2/3 czasu dobowego. W tabeli 13 przedstawiono ilości odcinków taśm zdjętych z przenośników o długościach należących do wyróżnionych przedziałów, średnią liczbę cykli w tysiącach jaką wykonały odcinki na przenośnikach oraz medianę i odchylenie standardowe. Wynika z niej, że nie wszystkie klasy długości reprezentowane są przez dostateczną ilość odcinków (np. przenośniki o długościach < 300 m). Dalszą analizę prowadzono więc dla przenośników ≥ 300 m długości.

Zakładając, że wartość oczekiwana liczby cykli jest sumą składnika systematycznego zależnego od długości przenośnika L oraz składnika losowego o wartości oczekiwanej równej 0 , zależność tę można przedstawić w postaci równania

$$E(C) = f(L) + \varepsilon, \quad (13)$$

gdzie: $E(C)$ - wartość oczekiwana liczby cykli,

$f(L)$ - funkcja zmiennej L o wartościach rzeczywistych,

ε - zmienna losowa o wartości oczekiwanej $E(\varepsilon) = 0$ o rozkładzie $N(0, \sigma(L))$ dla ustalonego L .

Przy takim założeniu regresję zmiennej losowej C (liczby cykli) względem długości przenośnika L wyraża równanie

$$E(C) = f(L). \quad (14)$$

Wyboru krzywej regresji dokonano po rozpatrzeniu następujących rodzin krzywych: linie proste ($C = \alpha + \beta L$), krzywe potęgowe ($C = \alpha L^\beta$), wykładnicze ($C = \exp(\alpha + \beta L)$) oraz hiperbole ($1/C = \alpha + \beta L$). Rozpatrywane modele regresji są więc dwuparametrowe (α i β) i mogą być po prostych przekształceniach sprowadzone do postaci liniowej względem parametrów modelu (np. poprzez obustronne zlogarytmowanie). Umożliwiło to przeprowadzenie analizy wszystkich modeli metodami stosowanymi w analizie regresji liniowej [17].

Wybór najlepszej krzywej spośród analizowanych rodzin odbywał się metodą najmniejszych kwadratów polegającą na minimalizowaniu sumy kwadratów różnic między ilościami cykli zaobserwowanymi, a obliczonymi testowanym modelem.

Metodą tą analizowano zarówno wszystkie zgromadzone wyniki z eksploatacji (187 realizacji wektora losowego (C, L)) jak i wyniki obliczeń symulacyjnych. Wyniki symulacyjne obejmują 70 przebiegów dla różnej długości przenośników od 200 m do 1400 m. Dane wejściowe dla tej serii obliczeń symulacyjnych stanowiły taśmy typu TP-wz 5 przekładkowe pracujące w kopalni "Rudna", na próbkach których przeprowadzono badania wytrzymałości na przebicie (rozdział 4). Również dane konstrukcyjne przenośników, składu ziarnowego urobku, natężenia strugi urobku były dobrane w zakresach parametrów rzeczywistych. W tabeli 14 przedstawiono parametry przy jakich przeprowadzono serię 70 symulacji zmieniając jedynie długość taśmy pracującej na przenośniku. Poziom zużycia taśmy ustalono na 70%. Wyniki badań symulacyjnych zawierające długość przenośnika, liczbę przeprowadzonych przebiegów dla danej długości przenośnika, średnią liczbę cykli osiągniętych przez taśmę do 70% uszkodzenia powierzchni taśmy, medianę i odchylenie standardowe przedstawiono w tab. 15.

Obliczenia regresji wyników eksploatacyjnych względem długości przenośnika dla czterech typów krzywych przedstawiają tabele 16 i 17, regresja wyników symulacji względem długości przenośnika odpowiednio dla tych samych typów krzywych przedstawiona została natomiast w tabelach 18 i 19. Wykresy krzywych regresji II rodzaju odpowiadające wynikom empirycznym i wynikom symulacji przedstawiono na rys. 35 i 36. W obu wypadkach przedstawiono krzywą potęgową, która dla wyników symulacji dała najlepsze przybliżenia, a dla wyników eksploatacyjnych należała do krzywych o najwyższym współczynniku korelacji.

Parametry, dla których przeprowadzono serię badań symulacyjnych
przy różnych długościach przenośników

Parametry skalarne procesu:

typ taśmy (<1 - tkan.-gum.; > 1 - z linkami)		0.000
gęstość urobku	(kg/m ³):	2700.000
natężenie strumienia urobku	(kg/s):	400.000
wysokość spadku urobku	(m):	1.200
szerokość taśmy	(m):	1.200
długość taśmy	(m):	1200.000
długość badanego odcinka taśmy	(m):	1.000
długość nadawy	(m):	4.000
początkowa grubość okładek	(mm):	7.000
prędkość taśmy	(m/s):	2.500
czas symulacji	(mies):	60.000
okres monitorowania	(dni):	30.000
czas pracy w ciągu dnia	(godz):	16.000
maksymalny stopień zużycia taśmy	(%/100):	0.700
szybkość ścierania okładek	(mm/rok):	1.500
średni promień krawędzi bryły	(cm):	1.000
współczynnik wzdłużnego rozszerzania uszkodzenia	:	0.140
współczynnik poprzecznego rozszerzania uszkodzenia	:	0.140
promień oddziaływania uszkodzenia	(cm):	10.000
współczynnik redukcji ostrości krawędzi	(cm/m):	60.000
współczynnik ścięcia rozkładu poprzecznego	:	0.100
nazwa zbioru monitorowania (poprzedzona spacją)	:	a:p600.prn

Empiryczny rozkład uziarnienia urobku:

1 przedział do	0.002 -	54.00% wagowo
2 przedział do	0.020 -	37.00% wagowo
3 przedział do	0.200 -	4.00% wagowo
4 przedział do	0.400 -	5.00% wagowo

Energia graniczna dla pierwszego uszkodzenia:

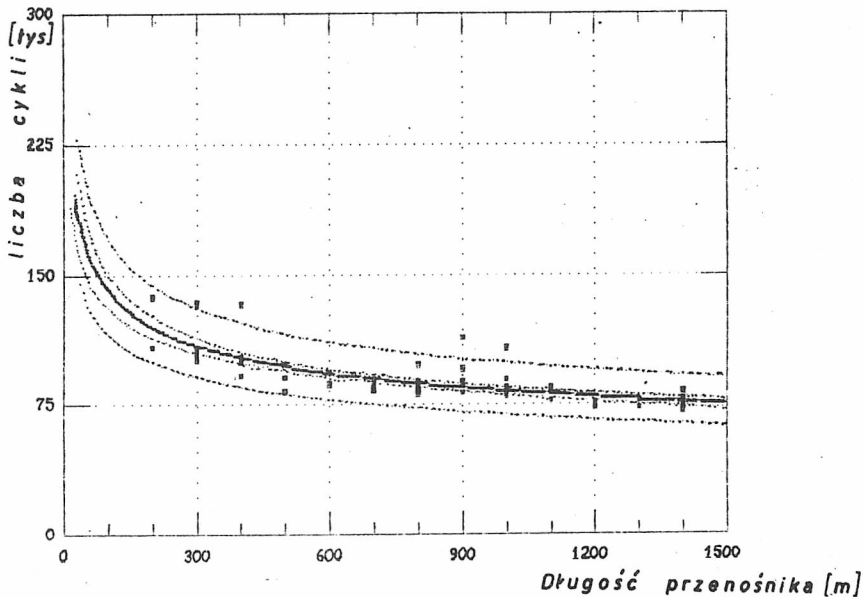
1 dla promienia	1.000	energia	100.000
2 dla promienia	1.500	energia	180.000
3 dla promienia	1.800	energia	500.000
4 dla promienia	3.000	energia	700.000
5 dla promienia	6.000	energia	1700.000
6 dla promienia	15.000	energia	4000.000
7 dla promienia	60.000	energia	30000.000

Energia graniczna dla kolejnych uszkodzeń:

1 dla promienia	1.000	energia	80.000
2 dla promienia	10.000	energia	1000.000
3 dla promienia	15.000	energia	2500.000
4 dla promienia	60.000	energia	20000.000

Parametry czasu przebiegu:

przedział energii generowanych brył	(J):	80.00-1065.11
przedział mas brył niszczących	(kg):	6.80-90.48
przedział wymiarów brył niszczących	(m):	0.17-0.40
okres występowania brył niszczących	(s):	2571.04
natężenie strumienia niszczącego	(kg/s):	22.70
średnia masa bryły niszczącej	(kg):	48.64
efektywna długość nadawy	(s):	4.00



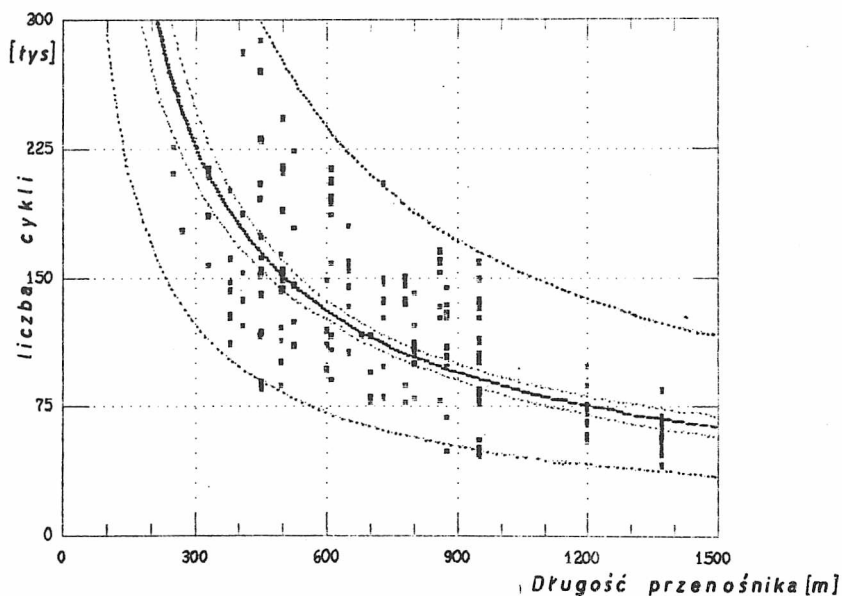
Rys. 35. Krzywa regresji II rodzaju (wyniki symulacji)
Fig. 35. Regression curve of II type (simulation results)

Przed przystąpieniem do analizy otrzymanych wyników należy omówić w jaki sposób estymowane były parametry modelu i czym kierowano się przy wyborze lepszej krzywej regresji. Tok postępowania przedstawiony będzie na przykładzie rodziny prostych. Przyjmując to założenie, równanie (13) można przedstawić w postaci

Wyniki badań symulacyjnych

Długość przeni- nika, m	Liczba symulacji	Średnia ilość cykli \bar{x}	Mediana \bar{x}	Wariancja \bar{x}	Standardowe odchylenie \bar{x}
200	6	117.679	108.000	225.025	15.0008
300	6	114.689	108.000	208.757	14.4484
400	4	106.628	101.139	316.758	17.7977
500	4	92.2780	94.3672	55.5141	7.45078
600	3	89.0361	86.9902	15.6779	3.95953
700	3	86.5012	86.5012	9.52163	3.08571
800	18	86.2328	86.0902	10.9177	3.30419
900	7	90.5143	86.5574	126.290	11.2379
1000	5	88.7795	84.3816	119.932	10.9513
1100	3	81.5714	82.6659	13.8971	3.72788
1200	3	75.1770	75.7770	1.18971	1.09074
1300	3	74.7238	73.3801	5.63963	2.37479
1400	5	77.1277	78.6857	18.7204	4.32671

\bar{x} - w tysiącach



Rys. 36. Krzywa regresji II rodzaju (wyniki rzeczywiste)
Fig. 36. Regression curve of II type (actual results)

$$C = \alpha + \beta L + \varepsilon_i. \quad (15)$$

Parametry α i β estymowane będą metodą najmniejszych kwadratów. Suma kwadratów odchyleń od linii prawdziwej jest równa

Regresja wyników z eksploatacji względem długości przenośnika
(krzywe wykładnicze i hiperbole)

Krzywe wykładnicze: $C = \exp(a + L)$					
Parameter	Estimate		Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	5.6144		0.057545	97.5655	0
Slope	-1.13413E-3		7.16379E-5	-15.8314	0
Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	21.56232	1	21.56232	250.63480	00000
Error	15.91570	185	.08603		
Total (Corr.)	37.47802	186			
Correlation Coefficient = -0,758507 R-squared = 57.53 percent					
Std. Error of Est. = 0.29331					
Hiperbole: $1/C = a + bL$					
Parameter	Estimate		Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	1.01875E-3		5.74352E-4	1.77373	0.0777521
Slope	1.12418E-5		7.15012E-7	15.7225	0
Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	.00212	1	.00212	247.19662	.00000
Error	.00159	185	.00001		
Total (Corr.)	.00370	186			
Correlation Coefficient = 0.756276 R-squared = 57.20 percent					
Std. Error of Est. = 2.9275E-3					

Regresja wyników z eksploatacji względem długości przenośnika
(proste i krzywe potęgowe)

Proste: $C = a + bL$

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	230.848	8.27466	27.8981	0
Slope	-0.135459	0.0103011	-13.1499	3.51794E-7

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	307596.71	1	307596.71	172.92	.00000
Error	329087.05	185	1778.85		
Total (Corr.)	636683.76	186			

Correlation Coefficient = -0,695071 R-squared = 48.31 percent
Std. Error of Est. = 42.1764

Krzywe potęgowe: $C = aL^b$

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept ³⁶	9.92842	0.343308	29.9199	0
Slope	-0.790179	0.0524701	-15.0596	0

³⁶NOTE: The Intercept is equal to $\log a$.

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	20.64077	1	20.64077	226.79126	.00000
Error	16.83725	185	.09101		
Total (Corr.)	37.47802	186			

Correlation Coefficient = -0.742121 R-squared = 55.07 percent
Std. Error of Est. = 0.301682

T a b e l a 18

Regresja wyników symulacji względem długości przenośnika
(krzywe wykładnicze i hiperbole)

Krzywe wykładnicze: $C = \exp(a + bL)$

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	4.78238	0.0277064	172.61	0
Slope	-3.5692E-4	3.27892E-5	-10.8853	2.22045E-16

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	1.06027	1	1.06027	118.48990	.00000
Error	.608474	68	.008948		
Total (Corr.)	1.668739	69			

Correlation Coefficient = -0.7971 R-squared = 63.54 percent
Std. Error of Est. = 0.0945947

Hiperbole: $1/C = a + bL$

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	8.2295E-3	2.69535E-4	30.5322	0
Slope	3.79375E-6	3.18982E-7	11.8933	0

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	.00012	1	.00012	141.45063	.00000
Error	.000058	68	.000001		
Total (Corr.)	.000177	69			

Correlation Coefficient = 0.821791 R-squared = 67.53 percent
Std. Error of Est. = 9.20244E-4

Regresja wyników symulacji względem długości przenośnika
(proste i krzywe potęgowe)

Proste: $C = a + bL$

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	118.272	2.95783	39.9862	0
Slope	-0.0343126	3.50045E-3	-9.80233	1.22125E-14

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	9798.9515	1	9798.9515	96.0856	.00000
Error	6934.7371	68	101.9814		
Total (Corr.)	16733.689	69			

Correlation Coefficient = -0.765233 R-squared = 58.56 percent
Std. Error of Est. = 10.0986

Krzywe potęgowe: $C = aL^b$

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept [‡]	5.9928	0.123846	48.3891	0
Slope	-0.227991	0.0189349	-12.0408	0

[‡] NOTE: The Intercept is equal to Log a

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	1.13595	1	1.13595	144.98068	.00000
Error	.532791	68	.007835		
Total (Corr.)	1.668739	69			

Correlation Coefficient = -0.825059 R-squared = 69.07 percent
Std. Error of Est. = 0.0885165

$$S = \sum \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (C_i - \alpha - \beta L_i)^2, \quad (16)$$

gdzie: n - wielkość analizowanej próby,
 C_i, L_i - wartości zaobserwowane,
 α, β - można określić różniczkując wyrażenie (16) względem α i β i porównując je do zera

$$\frac{\partial S}{\partial \alpha} = -2 \sum_{i=1}^n (C_i - \alpha - \beta L_i) = 0,$$

$$\frac{\partial S}{\partial \beta} = -2 \sum_{i=1}^n L_i (C_i - \alpha - \beta L_i) = 0.$$

Po rozwiązaniu tego układu równań otrzymuje się wzory na estymatory a i b parametrów α i β .

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})(C_i - \bar{C})}{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2}, \quad (17)$$

$$a = \bar{C} - b\bar{L},$$

gdzie: \bar{L}, \bar{C} - oznaczają średnie arytmetyczne wartości C_i i L_i ,
 $i = 1, \dots, n$.

Dla parametrów α i β przeprowadzone zostały testy hipotez zerowych:

1. $H_0: \alpha = \alpha_0$ przeciw hipotezie alternatywnej $H_1: \alpha \neq \alpha_0$
2. $H_0: \beta = \beta_0$ przeciw hipotezie alternatywnej $H_1: \beta \neq \beta_0$

Postać statystyk testowych jest następująca:

$$t = \frac{\alpha - \alpha_0}{\left[\frac{\sum_{i=1}^n L_i^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} S} \quad (18)$$

$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}}$$

gdzie: S^2 - estymator wariancji σ^2 obliczony przy $n-2$ stopniach swobody

oraz

$$t = \frac{(\beta - \beta_0) \left(\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2 \right)^{1/2}}{S} \quad (19)$$

Obie statystyki mają rozkład t-Studenta o $n-1$ stopniach swobody. Hipotezę zerową odrzucamy, gdy obliczona wartość statystyki (t) jest większa niż kwantyl rozkładu $t(n-2, 1 - \frac{1}{2}\alpha')$. Dla parametrów α i β określone zostały również przedziały ufności na poziomie $100(1 - \alpha')\%$

$$\alpha \pm t(n-2, 1 - \frac{1}{2}\alpha') \left[\frac{\sum_{i=1}^n L_i^2}{n \sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2} \right]^2 S, \quad (20)$$

$$\beta \pm \frac{t(n-2, 1 - \frac{1}{2}\alpha') S}{\left(\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2 \right)^{1/2}}$$

Wartości otrzymanych parametrów α i β dla rozpatrywanego modelu wpisane są w pierwszej kolumnie części tabeli. Oprócz nich umieszczone są standardowe błędy (druga kolumna) oraz wartości statystyk t (trzecia kolumna) testujących hipotezę, że parametr rzeczywisty jest równy 0. Ostatnia kolumna zawiera wartości prawdopodobieństwa popełnienia błędu pierwszego rodzaju, tzn. prawdopodobieństwa odrzucenia hipotezy, gdy jest ona prawdziwa.

Druga część tabeli zawiera analizę wariancji. Pierwsza kolumna zawiera sumy kwadratów odchyłeń zmiennej (liczbę cykli) w regresji (model), poza regresją (error) oraz sumę kwadratów zmiennej poza średnią (total).

Sumy kwadratów związane są ze sobą następującą zależnością:

$$\left(\begin{array}{l} \text{Suma kwadratów} \\ \text{zmiennej poza} \\ \text{średnią} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{Suma kwadratów} \\ \text{zmiennej} \\ \text{w regresji} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{Suma kwadratów} \\ \text{zmiennej poza} \\ \text{regresją} \end{array} \right)$$

$$\sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2 = \sum_{i=1}^n (\hat{c}_i - \bar{c})^2 + \sum_{i=1}^n (c_i - \hat{c}_i)^2 \quad (21)$$

gdzie: \hat{C}_i - jest wartością przewidywaną zmiennej (liczba cykli) na podstawie doboru równania.

Druga kolumna tabeli zawiera stopnie swobody określające jak wiele informacji zawartych w n niezależnych wartościach C_1, \dots, C_n potrzeba do zestawienia sumy kwadratów. Równaniu (21) odpowiada analogiczne dotyczące ilości stopni swobody

$$(n-1) = 1 + (n-2). \quad (22)$$

Kolumna trzecia - średni kwadrat (mean square) zawiera wyniki podzielenia sumy kwadratów przez odpowiadające im liczby stopni swobody.

$$MS_R = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{C}_i - \bar{C})^2}{1} \quad \text{średni kwadrat zmiennej w regresji} \quad (23)$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i - \hat{C}_i)^2}{(n-2)} \quad \text{średni kwadrat zmiennej resztowej}$$

gdzie: S^2 - estymator wariancji poza regresją, otrzymany przy $n-2$ stopniach swobody.

Przy założeniu, że ϵ_i są zmiennymi niezależnymi o rozkładzie $N(0, \sigma)$ zmienna MS_R pomnożona przez liczbę stopni swobody, tzn. 1, ma rozkład χ^2 o takiej samej liczbie stopni swobody.

$(n-2)S^2$ podlega rozkładowi χ^2 o $(n-2)$ stopniach swobody. Zatem stosunek $F = MS_R/S^2$ podlega na mocy twierdzenia Fishera rozkładowi F Shledecora o $(1, n-2)$ stopniach swobody przy założeniu, że $\beta = 0$. Statystyka ta jest wykorzystana do testowania hipotezy $\beta = 0$.

W kolumnie czwartej (F-Ratio) przedstawiona jest wartość tej statystyki, a w kolumnie ostatniej (Prob. Level) umieszczona jest wartość prawdopodobieństwa popełnienia błędu pierwszego rodzaju. W razie doboru linii prostej, a tak jest w rozpatrywanych tutaj modelach, test ten jest równoważny testowi hipotezy $\beta = 0$ przeprowadzanemu przy estymacji tego parametru.

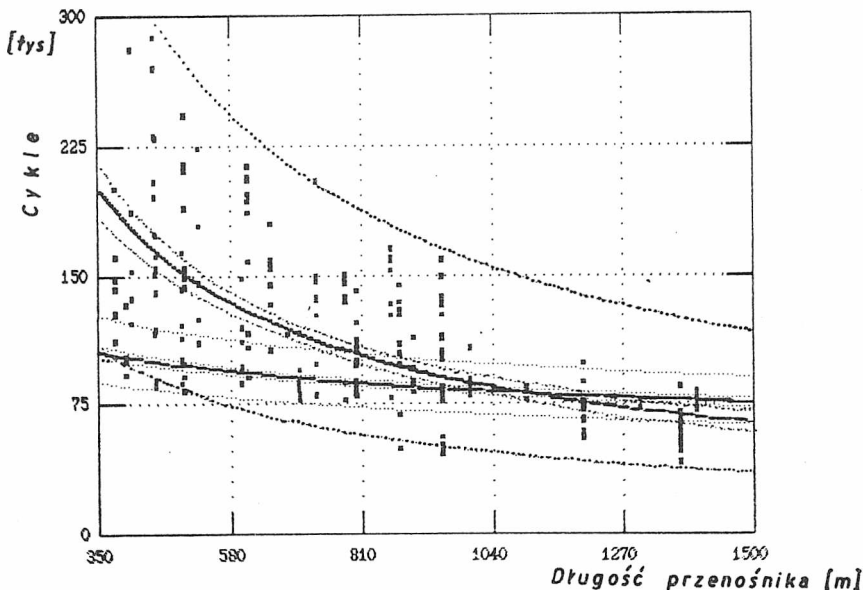
Oprócz tych danych w tabeli podane są obliczone wartości wskaźnika regresji:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (C_i - \hat{C}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{C}_i - \bar{C})^2}{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2} \quad (24)$$

$$r_{LC} = \frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})(C_i - \bar{C})}{\left(\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2\right)^{1/2} \left(\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2\right)^{1/2}}, \quad (25)$$

a także wartość standardowego błędu estymacji.

Ponieważ rozpatrywane są modele, które można sprowadzić do modelu liniowego, zachodzi zależność $r_{LC}^2 = R^2$. Tym lepsza jest zgodność modelu z rzeczywistą zależnością, im wartość R^2 jest bliższa jedności (100%). W celu umożliwienia porównania wyników symulacji i eksploatacji przedstawiono na rys. 37 wspólne krzywe regresji II rodzaju (krzywa potęgowa), a w tabeli 20 zestawiono wartości R^2 dla poszczególnych rodzin krzywych.



Rys. 37. Krzywe regresji II rodzaju
Fig. 37. Regression curve of II type

Po zanalizowaniu otrzymanych wyników można stwierdzić:

1. Większe jest rozproszenie wyników zebranych z eksploatacji od wyników symulacyjnych, co może być skutkiem:

- zróżnicowanej jakości taśm dostarczanych do kopalń,

Wartości wskaźników regresji

Rozpatrywana rodzina krzywych	R ² dla regresji II rodzaju - wyniki rzeczywiste, %	R ² dla regresji II rodzaju - wyniki symulacji, %
proste	48,31	58,56
krzywe potęgowe	55,07	68,07
krzywe wykładnicze	57,53	63,54
hiperbole	57,20	67,53

- braku jednoznacznych kryteriów oceny stopnia uszkodzenia taśmy na przenośniku,

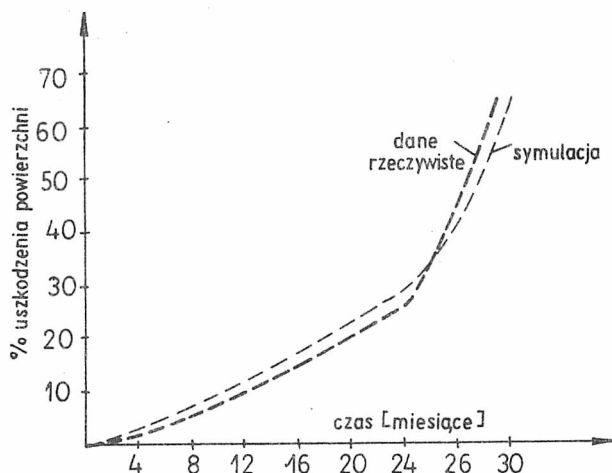
- subiektywnych kryteriów przy kwalifikacji taśmy do wymiany, co nie musi odpowiadać zawsze 70% zużycia taśmy jaki założono przy badaniach symulacyjnych.

2. Całość wyników symulacji mieści się w 95-procentowym przedziale wyników eksploatacyjnych, z tym, że dla długości przenośników powyżej 800 m zgodność tę można uznać za wystarczającą, natomiast dla przenośników krótszych od 800 m otrzymuje się znacznie mniejszą trwałość w badaniach symulacyjnych niż z eksploatacji. Może to wynikać z następujących przyczyn:

- na przenośnikach krótkich w praktyce często prowadzi się wymianę całej taśmy po całkowitym jej zużyciu (stopień zużycia 90 i 100% - całkowite starcie okładek, a nawet pierwszej przekładki), co znacznie zwiększa trwałość rzeczywistą taśm w stosunku do wyników symulacji,

- stosunkowo mała liczba wyników eksploatacyjnych dla przenośników krótszych od 500 m i bardzo duże rozrzuty otrzymanych wyników z eksploatacji (do 300%).

Przedstawiona weryfikacja statystyczna modelu dotyczyła tylko wyników końcowych badania symulacyjnego, tzn. porównywano otrzymane dane dotyczące trwałości taśm przy zadanym poziomie uszkodzenia. Nie zajmowała się ona charakterem procesu powstawania uszkodzeń w czasie. Tego zagadnienia dotyczyła weryfikacja graficzna. W tym celu w trzech wypadkach (trzy odcinki taśmy na przenośniku o długości 800 m) rejestrowano szacunkowy stan zużycia taśmy po określonych okresach czasu po roku i po dwóch latach. Średnie wyniki pomiarów porównano ze średnimi wartościami uzyskanymi dla przebiegu symulacyjnego. Wyniki graficznej weryfikacji przedstawiono na rys. 38.



Rys. 38. Weryfikacja graficzna modelu
Fig. 38. Graphic verification of the model

Analiza przebiegu procesu niszczenia taśmy daje również dobrą zgodność wyników rzeczywistych z przebiegami symulacyjnymi lecz zauważalny jest fakt, że w pierwszej fazie zużywania się taśmy wyniki symulacyjne są bardziej pesymistyczne od danych rzeczywistych. W końcowej fazie procesu następuje odwrócenie tej zależności, tzn. taśma zużywa się szybciej niż to wynika z badań symulacyjnych. Wy tłumaczenia tego zjawiska można szukać w fakcie przyjęcia w modelu liniowego procesu ścierania o-kładek taśm. Najnowsze prace badawcze [71] wskazują, że proces ten w początkowym okresie jest powolniejszy, a pod koniec pracy taśmy, po przekroczeniu wartości granicznej, raptownie wzrasta. Otrzymane różnice przebiegu procesu zużycia między danymi rzeczywistymi a wynikami symulacji są jednak niewielkie i przybliżenie samego procesu można uznać za zadowalające.

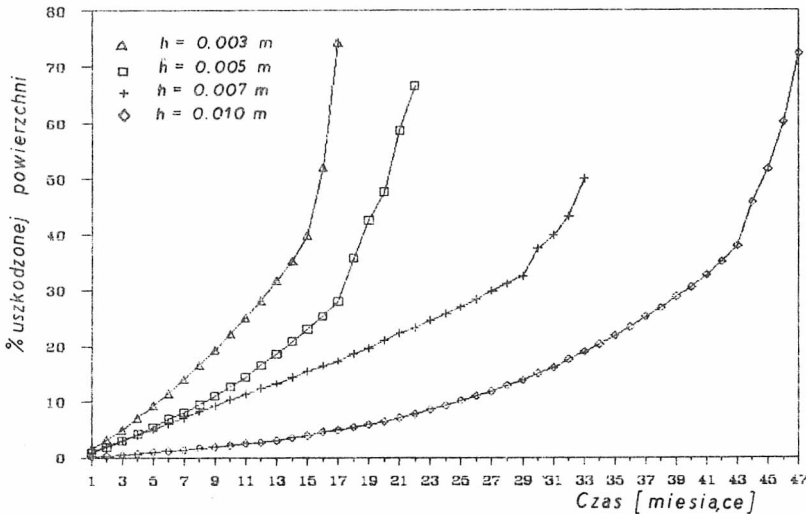
6. PRZYKŁADOWE OBLICZENIA SYMULACYJNE I ICH ANALIZA

W rozdziale tym omówiona będzie przydatność opracowanego i zweryfikowanego modelu do racjonalnego doboru parametrów taśm przenośnikowych do warunków eksploatacyjnych. Dane wejściowe dla przeprowadzonej serii obliczeń symulacyjnych stanowiły taśmy TP-wz 5-cio przekładkowe stosowane w weryfikacji modelu. Dane konstrukcyjne przenośników, skład ziarnowy urobku, natężenie urobku również były zmieniane w granicach dostoso-

wanych do parametrów przenośników pracujących w górnictwie rud miedzi. Dla ułatwienia analizy wyniki obliczeń symulacyjnych zostały przedstawione w formie zbiorczych wykresów określających wpływ poszczególnych parametrów taśmy, przenośnika czy urobku na proces powstawania uszkodzeń taśmy. Należy zaznaczyć, że przeprowadzona seria obliczeń była wykonana przy tej samej generowanej strudze urobku aby wyniki wpływu kolejnych parametrów nie były zaciemnione losowością samych przebiegów symulacyjnych.

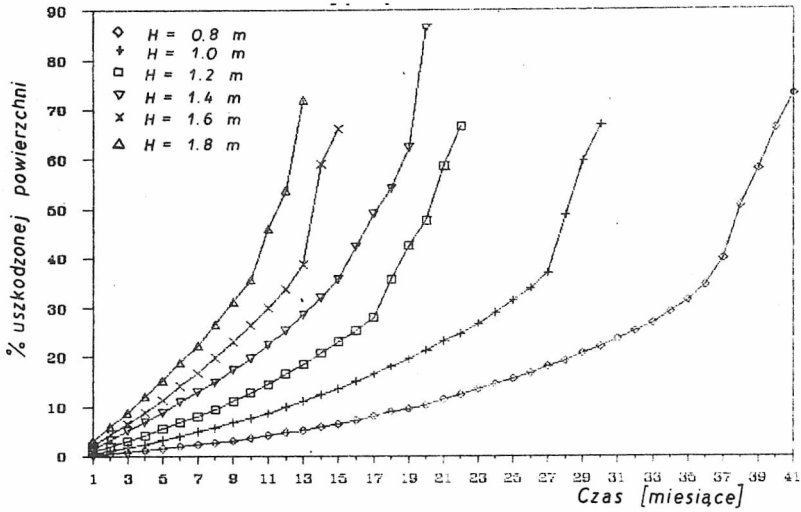
6.1. Badanie wpływu parametrów taśmy na jej trwałość

Przeanalizowano wpływ grubości okładek. Wykres zbiorczy przedstawiono na rys. 39. Na podstawie otrzymanych wyników można jednoznacznie

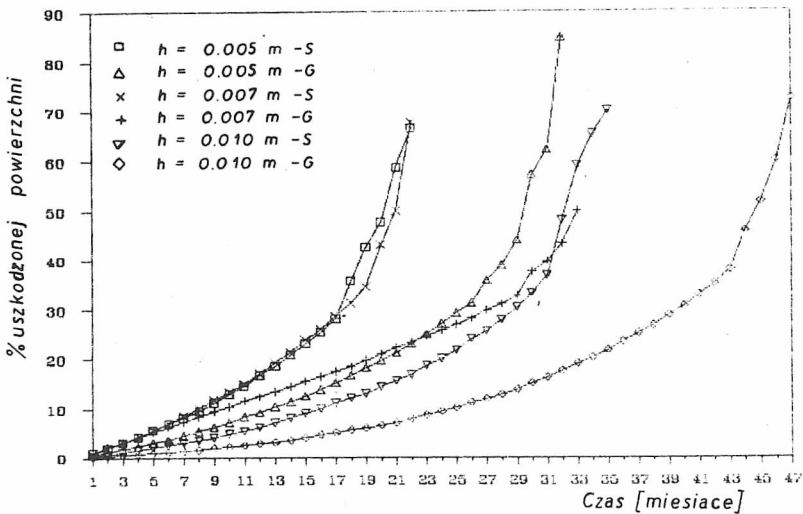


Rys. 39. Wpływ grubości okładek
Fig. 39. The influence of top cover thickness

stwierdzić, że taśma z okładką 3 lub 5 mm nie może zostać dopuszczona do warunków pracy panujących w górnictwie rud przy istniejących obciążeniach, ponieważ będzie ulegała zbyt szybkiemu zużyciu. Z wstępnej analizy wynika, że możemy polecać w tych warunkach okładki w granicach od 7 do 10 mm z tym, że dla okładek grubszych (w granicach 10 mm i więcej) konieczna byłaby już analiza kosztów oraz sztywności taśmy. Grubsze okładki wpływają bowiem na znaczny wzrost sztywności taśmy, co jest wyjątkowo niekorzystne w zastosowaniu do taśm wieloprzekładowych stosunkowo wąskich, z jakimi mamy do czynienia w górnictwie podziemnym rud i węgla kamiennego.



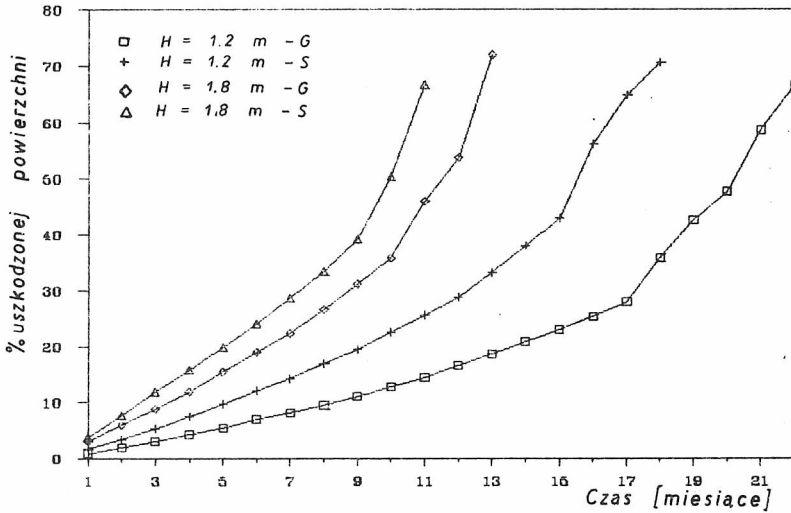
Rys. 40. Wpływ wysokości spadku urobku
Fig. 40. Influence of output fall height



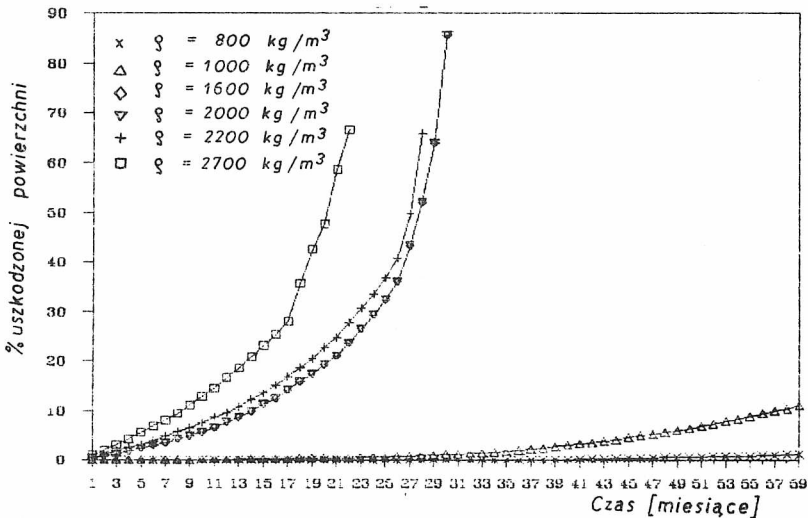
Rys. 41. Wpływ rodzaju podparcia taśmy i grubości okładek
Fig. 41. Influence of type of belt supporting and cover thickness

6.2. Badanie wpływu parametrów konstrukcyjnych przenośnika na trwałość taśmy

Badania symulacyjne przeprowadzono uwzględniając zmienną wysokość spadku urobku na przenośnik (od 0,8 m do 1,8 m) oraz sposób podparcia taśmy w miejscu podawania urobku (krążniki nadawowe z pierścieniami gu-

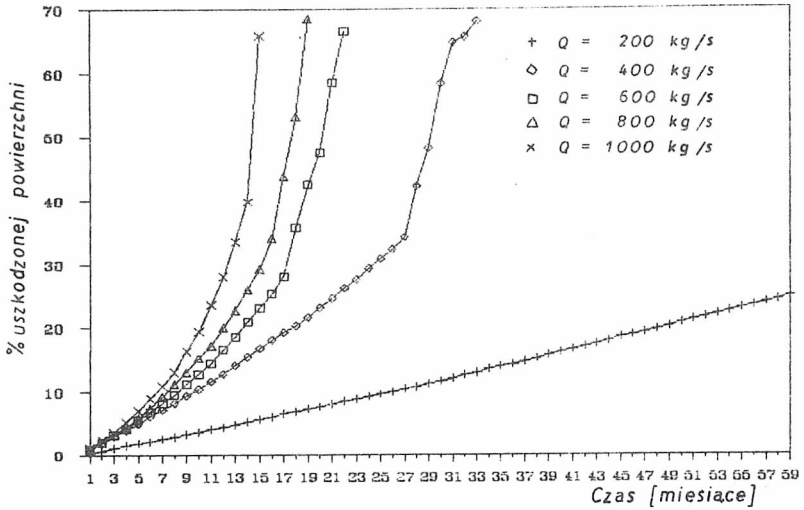


Rys. 42. Wpływ rodzaju podparcia taśmy i wysokości spadku
 Fig. 42. Influence of type of belt supporting and height of fall

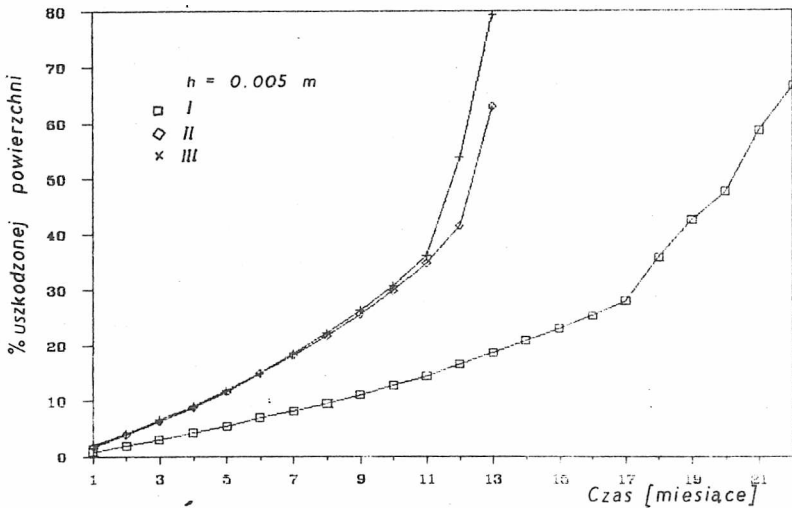


Rys. 43. Wpływ gęstości urobku
 Fig. 43. Influence of output density

mowymi oraz krążniki z płaszczem stalowym). Odpowiednie wykresy przedstawiono na rys. 40, 41 i 42. Na tych wykresach wyraźnie widoczny jest wzrost odporności taśm podpartych krążnikami z pierścieniami gumowymi w porównaniu do krążników z płaszczem stalowym. Różnica tej odporności zwiększa się przy mniejszych wysokościach, a maleje wraz ze wzrostem wysokości spadku urobku. Wysokość spadku urobku jest jednym z podstawowych

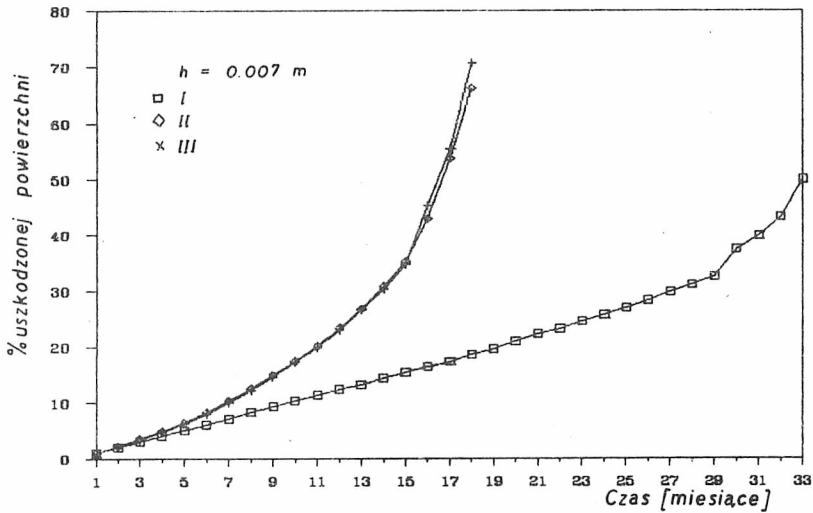


Rys. 44. Wpływ natężenia strugi urobku
Fig. 44. Influence of output stream intensity

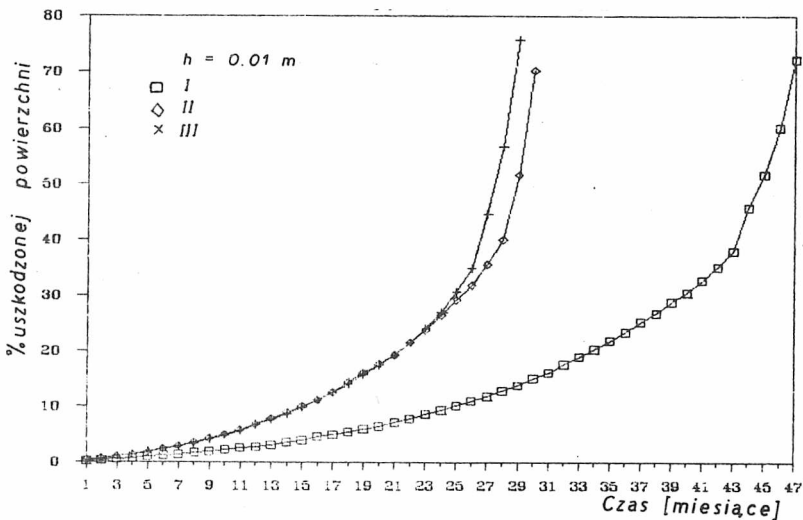


Rys. 45. Wpływ składu ziarnowego urobku (okładka 5 mm)
Fig. 45. Influence of output grain content (5 mm cover)

parametrów konstrukcyjnych przenośnika mających tak duży wpływ na powstające uszkodzenia taśmy (rys. 40). Różnica wysokości około dwukrotna (0,8 i 1,8 m) prowadzi do różnic trwałości 3-4 krotnych (12 miesięcy i 40 miesięcy) przy istniejących warunkach obciążenia. Zależność ta jest powtarzalna przy różnych grubościach okładek (rys. 41).



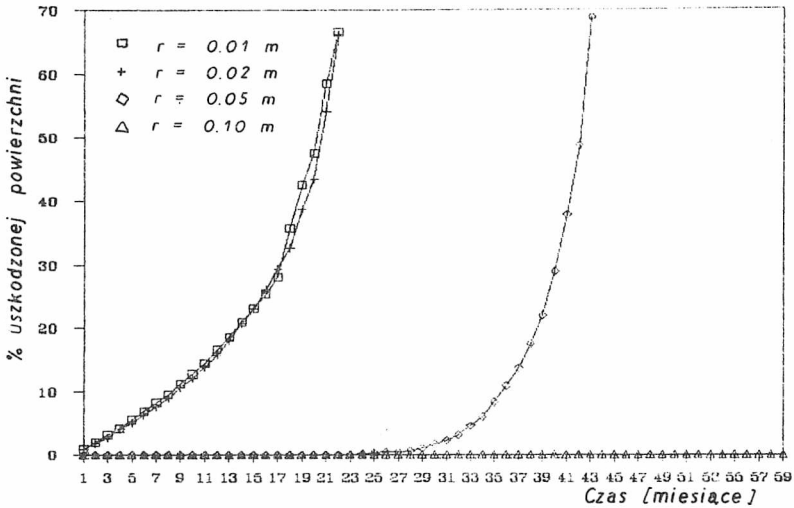
Rys. 46. Wpływ składu ziarnowego urobku (okładka 7 mm)
Fig. 46. Influence of output grain content (7 mm cover)



Rys. 47. Wpływ składu ziarnowego urobku (okładka 10 mm)
Fig. 47. Influence of output grain content (10 mm cover)

6.3. Badanie wpływu parametrów transportowanego urobku na trwałość taśm

W tej serii badań uwzględniono wpływ gęstości urobku (rys. 43), na-
tężenia strugi urobku (rys. 44), składu ziarnowego urobku (rys. 45, 46
i 47) oraz średniego promienia urobku (rys. 48). Analiza wpływu gęstoś-



Rys. 48. Wpływ średniego promienia krawędzi bryły
Fig. 48. Influence of the mean radius of solid body edge

ci urobku wykazała (rys. 43) na pierwszy rzut oka, że nie ma potrzeby stosowania tego typu taśmy do urobku o gęstości do 1000 kg/m^3 , np. wszelkich rodzajów węgla kamiennego. Są to taśmy o zbyt wysokich wytrzymałościach, a tym samym zbyt drogie dla górnictwa węgla kamiennego.

Analizując inne wyniki, np. wpływ natężenia strugi urobku (rys. 44) widzimy, przy jakich oczekiwanych wydajnościach taśmy o założonych parametrach ulegną zniszczeniu. W tym wypadku założono specjalnie dwie wielkości natężenia strugi urobku przewyższające wydajności przenośnika i okazało się, że takie przeciążenie powodowałoby zniszczenie taśm w czasie kilkunastu miesięcy.

Równie interesujących wyników dostarczyła analiza wpływu trzech zróżnicowanych składów ziarnowych urobku (rys. 45, 46, 47) na powstające uszkodzenia w taśmie. Charakterystykę składów ziarnowych zawiera tab. 21. Analiza wpływu składu ziarnowego przeprowadzona dla taśm o trzech grubościach okładek (5, 7 i 10 mm) wykazała, że zawartość brył o największych wymiarach ma decydujący wpływ na powstające uszkodzenia taśm. Nawet znaczne zmiany w zawartościach frakcji drobnych nie miały w zasadzie wpływu na przebieg procesu uszkodzenia.

Kolejnym punktem analizy był kształt brył (promień krawędzi bryły). Wynika z niego wyraźnie bardzo duża wrażliwość taśmy na ostrokrawędzistość brył ($r = 1,0$ lub $2,0$ cm). Taśma poddana działaniu brył o promieniu 10 cm ulegała uszkodzeniom bardzo powoli.

Charakterystyka urobku w obliczeniach symulacyjnych

Nr składu ziarnowego	Zawartość procentowa frakcji urobku			
	0,002 m	0,002-0,02 m	0,02-0,2 m	0,2-0,4 m
	%			
I	54	37	4	5
II	54	26	10	10
III	54	20	16	10

7. ZALECENIA DO RACJONALNEGO DOBORU TAŚM

Dobór parametrów taśm przenośnikowych z uwzględnieniem warunków eksploatacyjnych powinien być prowadzony w kolejnych krokach.

1. Obliczenie wytrzymałości na rozciąganie taśmy wynikające z istniejącego rozkładu sił w taśmie za pomocą obowiązujących metod doboru (pkt 1.5).

2. Zebranie danych charakteryzujących konstrukcję przenośnika, takich jak:

- rozwiązanie podparcia taśmy w miejscu podawania urobku (krążniki, belki gumowe, podparcie taśmą),
- rodzaj zastosowanych krążników nadawowych (z płaszczem stalowym, z pierścieniami gumowymi itp.),
- rodzaj zestawów nadawowych (sztywne, przegubowe),
- rozstaw zestawów krążników nadawowych,
- długość odcinka przesypu,
- długość przenośnika taśmowego,
- wysokość spadku urobku,
- szerokość taśmy,
- prędkość taśmy.

3. Zebranie danych charakteryzujących urobek, takich jak:

- gęstość urobku,
- skład ziarnowy (krzywe składu ziarnowego),
- ostrość krawędzi brył.

4. Zebranie danych (między innymi wyników badań zawartych w niniejszej pracy) odnośnie kilku rodzajów taśm charakteryzujących się zadaną wytrzymałością na rozciąganie a różniących się:

- konstrukcją rdzenia taśmy,
- materiałem, z którego wykonano rdzeń,
- grubością okładek nośnych,
- grubością okładek bieżnych,
- własnościami gumy okładkowej (twardość, ścieralność).

5. Przeprowadzenie serii badań symulacyjnych na opracowanym modelu przy zadanych parametrach przenośnika i urobku, zmieniając parametry taśm.

6. Analiza wyników badań symulacyjnych i wybór optymalnych parametrów taśm przy założonych warunkach eksploatacyjnych.

8. PODSUMOWANIE I KIERUNKI DAJSZYCH BADAŃ

Dobór taśm przenośnikowych na podstawie obowiązującego kryterium wytrzymałości na rozciąganie jest niewystarczający ze względu na pomijanie wielu parametrów wpływających na czas pracy taśmy na przenośniku. Opracowany i zweryfikowany w pracy model symulacyjny umożliwia symulowanie pracy taśmy na przenośniku przed jej zainstalowaniem z uwzględnieniem parametrów samej taśmy, konstrukcji przenośnika taśmowego oraz parametrów transportowanego urobku. Pozwala on na przeprowadzenie w krótkim czasie analizy wpływu parametrów taśmy przy zadanych parametrach konstrukcyjnych przenośnika i urobku na przebiegi czasowe procesu niszczenia taśmy oraz sprawdzenia poprawności dokonanego wyboru. Model pozwala również na przeanalizowanie wpływu parametrów konstrukcyjnych przenośnika i jakościowych urobku na proces powstawania uszkodzeń w taśmie. Jest on dostosowany zarówno do taśm z linkami stalowymi jak i taśm tekstylnych o różnych konstrukcjach rdzenia.

Przedstawiony model jest pierwszą próbą zastosowania metod symulacyjnych do oszacowania trwałości taśmy na konkretnym przenośniku. Ze względu na poziom niewiedzy w zakresie samego zjawiska niszczenia taśmy oparty jest na pewnych uproszczeniach, które wpływają na dokładność otrzymanych przebiegów. Autorka jest świadoma niedoskonałości modelu, lecz celem pracy było przede wszystkim kompleksowe opracowanie zagadnienia doboru taśm oraz przedstawienie metody mogącej stanowić podstawę racjonalnego doboru. Do ważniejszych kierunków prac, które należałoby podjąć w celu udoskonalenia modelu należy zaliczyć:

1. Przeprowadzenie badań teoretycznych jak i empirycznych, których celem będzie określenie wpływu warstwy drobnej urobku przykrywającej

taśmę w momencie spadku bryły dużej. W modelu przyjęto tę zależność tylko dla określonej grupy materiałów i to nie w pełnym zakresie.

2. Rozszerzenie modelu na model z kumulacją uszkodzeń cząstkowych pochodzących od ziarn wszystkich wielkości.

3. Uściślenie procesu ścierania okładek taśmy w czasie i wprowadzenie nieliniowej zmienności tego parametru w modelu.

4. Uwzględnienie kąta nachylenia brzegów taśmy w stosunku do kierunku spadania brył w wartościach energii uderzenia.

5. Uwzględnienie spadku wytrzymałości na rozwarstwianie się taśm w wyniku procesu zginania taśmy podczas pracy na przenośniku.

Opracowany model może być poszerzony o analizę ekonomiczną uwzględniającą koszty zakupu taśm w zależności od konstrukcji rdzenia lub grubości okładek.

Badania modelowe nadają się do wykorzystania w procesie projektowania i eksploatacji przenośników oraz, po rozwinięciu, do optymalizacji procesu eksploatacji taśm włącznie ze sterowaniem zapasami.

LITERATURA

- [1] ALLES R., Die Beanspruchung von Gummifördergurten und deren rechnerische Erfassung, Braunkohle, Heft 10, 1981.
- [2] ALLES R., Die Verbindungsfestigkeit als Kriterium der Fördergurtauswahl, Transmatik, 1985.
- [3] ALLES R., Fördergurt-Berechnung, Handbuch der Continental, Hannover 1979.
- [4] ALLES R., Vermeidbarer Gurtverschleiss bei Schüttgutförderern und seine Hauptursachen, Maschinenmarkt, Heft 28, 1981.
- [5] ANTONIAK J., Urządzenia i systemy transportu podziemnego w kopalniach, Wyd. Śląsk, Katowice, 1976.
- [6] ANTONIAK J., ZIAJA P., Próba zbudowania modelu matematycznego ugięcia taśmy przenośnikowej, Pr. nauk. Inst. Gór. PWr, Nr 30, Wrocław 1978.
- [7] BALLHAUS H., Beanspruchung und Verschleiss von Gummifördergurten durch die Aufgabe stückiger Schüttgüter, Dysertacja, Universität Karlsruhe, 1982.
- [8] BALLHAUS H., Berührungslose Abtastung der Kontur stehender oder bewegter Fördergurtoberflächen mit Ultraschall, Messen und Prüfen/Automatik, Dezember 1981.
- [9] BALLHAUS H., Ein neuartiger Fördergurt-Verschleissprüfstand, Die Impulskräfte beim Aufprall grobstückigen Gutes auf den Fördergurt. Braunkohle, H. 6, 1981.
- [10] BALLHAUS H., Ein neuartiger Fördergurt-Verschleissprüfstand, Braunkohle, Heft 10, 1981.
- [11] BEHRENS U., Untersuchungen zum Walkwiderstand schwerer Förderbandanlagen, Dysertacja TU Hannover 1967.

- [12] BLICBLAU A.S., Evaluation of a Rubber Abrasion Test Method, Bulk Solids Handling, Vol. 4, No 2, 1984.
- [13] BOROCH H., Teoretyczne podstawy dynamiki taśm przenośnikowych, Pr. nauk. Inst. Bud. PWr., Nr 24, Wrocław 1978.
- [14] CLAMROTH R., Erfassung der viskoelastischen Eigenschaften durch dynamische Messungen, Kautschuk und Gummi, Kunststoffe, Nr 10, 1980.
- [15] de MEERSMAN C., VANDOREN P., Eine neue Methode zur Bestimmung des Verhaltens von Gummi unter dynamischer Beanspruchung, Gummi, Asbest, Kunststoffe 5, 1981.
- [16] DORAU H.U., OEHMEN K.H., Zur Beanspruchung mehrlagiger Textilfördergurte, Braunkohle, H. 3, 1983.
- [17] DRAPER N.R., SMITH H., Analiza regresji stosowana, PWN, 1973.
- [18] DROBNY J., Wpływ napięcia w taśmie przenośnikowej na jej trwałość, Pr.nauk.Inst.Gór.PWr., Nr 45, Wrocław 1985.
- [19] EIBL J., BLOCK K., Zur Beanspruchung von Balken und Stützen bei hartem Stoss (impact), Bauingenieur 56, 1981, s. 369.
- [20] EUTENEUER G., FRÜMPER R., Der Bandberg Prosper als Weg in neue Dimensionen der Fördertechnik, Glückauf, Nr 10, 1987, s.623-631.
- [21] FLEBBE H., Untersuchung von Fördergurten auf ihre dynamische Festigkeit, Braunkohle, H. 6, 1982.
- [22] FLEBBE H., Prüfung der dynamischen Beanspruchbarkeit von Fördergurtverbindungen, Dysertacja, Universität Hannover 1984.
- [23] FLEBBE H., Die dynamische Verbindungsfestigkeit als Auslegungskriterium für Fördergurte, Glückauf, Nr 6, 1988, s. 317-324.
- [24] FLEBBE H., HARDYGÓRA M., Zur Beaufschlagungsfestigkeit von Fördergurten, Braunkohle, H. 7, 1986.
- [25] FUNKE H., Zum dynamischen Verhalten von Förderbandanlagen beim Anfahren und Stillsetzen, Dysertacja, TU Hannover 1973.
- [26] GERBER P., Der Einfluss der elastischen Zwischenschichten auf die Kraftübertragung zwischen Trommel und Gurtzugelement bei Förderbandanlagen, Fortschrittberichte, Nr 8, VDJ-Verlag 1967.
- [27] GŁADYSIEWICZ L., Metoda wyznaczania oporów wgniotu taśmy przenośnikowej w płaszcz krążnika, Pr.nauk.Inst.Gór.PWr., nr 42, Wrocław 1983.
- [28] GŁADYSIEWICZ L., Własności tłumiące taśm przenośnikowych i ich wpływ na wielkość oporu toczenia taśmy po krążnikach, Pr.nauk. Inst.Gór.PWr., nr 45, Wrocław 1985.
- [29] GŁADYSIEWICZ L., JURDZIAK L., MASELLA J., Strategia wymiany taśm przenośnikowych w złożonych układach transportowych, Pr.nauk. Inst.Gór.PWr., nr 48, Wrocław 1986.
- [30] GŁADYSIEWICZ L., KAWALEC W., Eksperymentalne ustalenie własności taśm mających wpływ na opory przeginalnia i straty energii przy przejściu przez zestawy krążnikowe, Raport Inst.Gór.PWr, nr 101, Wrocław 1985 (nie publikowana).
- [31] GŁADYSIEWICZ L., OSIEKA G., SZYMAŃSKI J., Własności udarowe taśm przenośnikowych, Górnictwo Odkrywkowe nr 12, 1977.
- [32] GŁADYSIEWICZ L., SZYMAŃSKI J., ŻUR T., Prędkości rozchodzenia się fali napięcia w ciągnacznym przenośniku taśmowym podczas rozruchu, Górnictwo Odkrywkowe nr 11, 1976.
- [33] GOŁOSIŃSKA G., Obliczanie ugięcia taśmy przenośnikowej pomiędzy zestawami krążnikowymi metodą elementów skończonych, Pr.nauk.Inst. Gór.PWr., nr 48, Wrocław 1986.

- [34] GOŁOSIŃSKA G., Model matematyczny taśmy przenośnikowej z linkami stalowymi obciążonej udarem poprzecznym, Praca doktorska, PWr., Wrocław 1987 (nie publ.).
- [35] GORDON G., Symulacja systemów, WNT, Warszawa 1974.
- [36] GRIMMER K.J., Das Reibungsverhalten des Gurtes der Antriebstrommel von Bandförderanlagen, Dysertacja, TU Hannover, 1964.
- [37] GRIMMER K.J., Untersuchungen über die zusätzliche Gurtdehnung in der Ein- und Ausmuldungsstrecke gemuldeter Förderbänder mit Gewebeeinlagen, Fortschrittberichte, Nr 10, VDJ-Verlag, 1968.
- [38] HAGER M., Stand der Entwicklung von Verbindungen hochfester Stahlseilgurte, Braunkogele 39, H. 7, 1987, s. 251-253.
- [39] HAMAN Z., Obciążenia dynamiczne węzła nadawowego w przenośnikach taśmowych, Zeszyty specjalne, Poltegor, Nr 50, Wrocław, 1970.
- [40] HARDYGÓRA M., Metoda doboru taśm tkaninowo-gumowych z uwzględnieniem losowej zmienności wytrzymałości przekładek i nierównomierności rozkładu obciążeń, Praca doktorska, PWr., 1977 (nie publ.).
- [41] HARDYGÓRA M., Zmienność wytrzymałości pojedynczych przekładek w taśmie i jej wpływ na wytrzymałość taśmy, Górnictwo Odkrywkowe, nr 5-6, 1979.
- [42] HARDYGÓRA M., Zmiany wytrzymałości tkaninowo-gumowych taśm przenośnikowych podczas eksploatacji, Szkoła Naukowa Eksploatacja Maszyn w Górnictwie, PAN, Wrocław 1980.
- [43] HARDYGÓRA M., Schädigungen an Stahlseilgurten infolge Einwirkung von Stosskräften unter Berücksichtigung der Deckplattendicke, Neue Bergbautechnik, Nr 4, 1984, s.127-131
- [44] HARDYGÓRA M., Die Häufigkeit des Gurtdurchschlages als Aspekt der automatischen Überwachung der Aufgabestation, VII Internationale Tagung für Fördertechnik, Dresden 1984.
- [45] HARDYGÓRA M., Aramidowe taśmy przenośnikowe, Przegląd Górniczy nr Katowice 1986.
- [46] HARDYGÓRA M., Badania symulacyjne wpływu parametrów taśmy przenośnika taśmowego oraz nosiwa na proces niszczenia taśmy przenośnikowej, Pr.nauk.Inst.Górn.PWr., nr 50, Wrocław 1988.
- [47] HARDYGÓRA M., Principles of Belt Parameter Selection Considering Simulation Modelling of the Failure Process of Conveyor Belts, International Conference on Mining Machinery ICOMM 88, Brisbane, Australia, May 1988.
- [48] HARDYGÓRA M., GARNCARZ J., Modelowanie procesu zniszczenia taśmy przenośnikowej, XXIV Sympozjum PTMTiS, Modelowanie w Mechanice, Beskid Śląski 1985.
- [49] HARDYGÓRA M., GŁADYSIEWICZ L., Metody obliczania rozkładu naprężeń w przekładkach taśm przenośnikowych w wyniku przecięcia jednej z nich, Górnictwo Odkrywkowe, nr 1-2, 1979.
- [50] HARDYGÓRA M., GOŁOSIŃSKA G., Wpływ konstrukcji rdzenia taśmy tekstylnej na jej odporność na przebicie, Pr.nauk.Inst.Gór.PWr., nr 45, Wrocław 1985.
- [51] HARDYGÓRA M., GOŁOSIŃSKA G., Wpływ konstrukcji przesypu na uszkodzenia powstające w taśmach przenośnikowych, Cuprum, 1986, nr 1 s. 9-12.
- [52] HARDYGÓRA M., GOŁOSIŃSKA G., Effect of Belt and Loading Station Design on Impact Resistance of Steel Cord Conveyor Belts, Bulk Solids Handling, Vol. 6, No 3, 1986.

- [53] HARDYGÓRA M., GOŁOSIŃSKA G., Einfluss der Seilkonstruktion auf die Beaufschlagungsfestigkeit der Stahlseilfördergurte, Hebezeuge und Fördermittel, Nr 1, 1986, s. 19-21.
- [54] HARDYGÓRA M., GOŁOSIŃSKA G., Der Einfluss der Abstützungsart auf die Beaufschlagungsfestigkeit der Stahlseilgurte mit unterschiedlicher Deckplattendicke, Neue Bergbautechnik, Nr 1, 1987, s.18-21.
- [55] HARDYGÓRA M., JURDZIAK L., KAWALEC W., Ustalenie dopuszczalnego kąta niecki dla taśm tkaninowych stosowanych w górnictwie rud, Raport Inst.Gór.PWr., nr 154, Wrocław 1986, s. 18-21 (nie publ.).
- [56] HARDYGÓRA M., KAWALEC W., POLONIS E., Identyfikacja naprężeń rozwarstwiających w wieloprzekładowych taśmach przenośnikowych, XXII Sympozjum PTMTiS, Modelowanie w Mechanice, Beskid Śl.1983.
- [57] HARDYGÓRA M., KOBYLAŃSKI T., Model symulacyjny procesu powstawania uszkodzeń w taśmie przenośnikowej, Pr.nauk.Inst.Gór.PWr., nr 48, Wrocław 1986.
- [58] HARDYGÓRA M., PELC W., Metody wykrywania uszkodzeń w taśmach przenośnikowych z linkami stalowymi, Pr.nauk.Inst.Gór.PWr., nr 41, Wrocław, 1981.
- [59] HARDYGÓRA M., PELC W., SOZAŃSKI L., Metody wykrywania uszkodzeń w taśmach przenośnikowych z przekładkami tekstylnymi, Pr.nauk.Inst.Gór.PWr., nr 45, Wrocław 1985.
- [60] HARDYGÓRA M., ŻUR T., Metoda doboru wieloprzekładowych taśm przenośnikowych w ujęciu niezawodnościowym, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, nr 589, Gliwice 1978.
- [61] HARRISON A., Dynamic Measurement and Analysis of Steel Cord Conveyor Belts, Dissertation, University Newcastle 1984.
- [62] HARRISON A., Developments in Conveyor Belt Monitoring Using Microprocessor Technology, The Coal Journal, 1984.
- [63] HARRISON A., Flexural Behaviour of Tensioned Conveyor Belts, Bulk Solids Handling, Vol. 4, No 2, 1984.
- [64] HARRISON A., Redefinition of Troughability Standards for Conveyor Belting, Bulk Solids Handling, Vol. 6, No 1, February 1986.
- [65] HARRISON A., Practical Considerations in the Testing of Steel Reinforced Conveyor Belts, The Coal Journal, No 1, 1986.
- [66] HARRISON A., Troughability Measurement of Fabric Reinforced Belting for the Powder and Bulk Handling Industry, Bulk Solids Handling vol. 7, No 3, s. 381-389, June 1987.
- [67] HETTLER W., KRAUSE F., Die Anteile des Walkwiderstandes Gurtbandförderers, Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule Magdeburg, 20/1973/3.
- [68] HOHMANN R., Zur Kraftübertragung von Antriebstrommel auf Fördergurte mit Stahlseileinlagen, Dysertacja, TU Hannover 1975.
- [69] JABŁOŃSKI R., Niektóre problemy racjonalnego wykorzystania taśm przenośnikowych, Pr.nauk.Inst.Gór.PWr., nr 48, Wrocław 1985.
- [70] JOSTEIT H., Instandhaltung von Fördergurten bei Reinbraun. Braunkohle, H. 9, 1972.
- [71] JURDZIAK L., Opracowanie metody racjonalnej wymiany taśm przenośnikowych w górnictwie, Praca dyplomowa, Wydż. Górniczy PWr., Wrocław 1988 (nie publ.).
- [72] JURDZIAK L., Określenie wpływu długości przenośnika na trwałość taśm przenośnikowych w kopalni podziemnej, Pr.nauk.Inst.Gór.PWr., nr 50, Wrocław 1988.

- [73] JURDZIAK L., KAWALEC W., WAJDA A., Ocena trwałości taśm przenośnikowych w kopalni węgla brunatnego Bełchatów, Pr.nauk.Inst. Gór.PWr., nr 45, Wrocław 1985.
- [74] JURDZIAK L., KAWALEC W., KOBYLAŃSKI T., Komputerowo wspomaganą gospodarką taśmami przenośnikowymi, Pr.nauk.Inst.Gór.PWr., nr 48, Wrocław 1986.
- [75] KAROLEWSKI B., Modelowanie zjawisk dynamicznych w przenośnikach taśmowych, Pr.nauk.Inst.Energoelekt.PWr., nr 63, Wrocław 1985.
- [76] KASTURI T.S., Energy Conservation and the Selection of Conveyor Components, Bulk Solids Handling, vol. 7. No 4, August 1987, s. 499-505.
- [77] KOLOSOV L.V., Krucenie trosow rezinotrosovoj lenty, Gornyj žurnal, No 8, 1979.
- [78] KOLOSOV L.V., O racionalnoj konstrukcii metallotrosov dla rezinotrosovykh lent, Gornyj žurnal No 1, 1983.
- [79] KOMANDER H., PAŁCZAK C., Niektóre metody badania taśm przenośnikowych z linkami stalowymi, Górnictwo Odkrywkowe, nr 1, 1970.
- [80] KÖTTGEN D., Zur Frage der konstruktiven Ausbildung von Materialaufgabestellen bei Bandförderanlagen, Braunkohle, Wärme und Energie, H. 7/8, 1958.
- [81] LACHMANN H.P., Schutz vor Schäden bei Stahlseilfördergurten, Fördern und Heben, H. 3, 1976.
- [82] LACHMANN H.P., Zum Stand der Fördergurtentwicklung I,II,III, Deutsche Hebe- und Fördertechnik, H. 1-2-3, 1977.
- [83] LACHMANN H.P., Fördergurte, Aufwand und Verfügbarkeit, Braunkohle, Heft 6, 1981.
- [84] LACHMANN H.P., Survey on Present-Day Conveyor Belt Technology, Bulk Solids Handling, Vol. 4, No 4, 1984.
- [85] LACHMANN H.P., Steel Cord Belting Still the Number 1, Bulk Solids Handling, Vol. 7, No 5, Oktober 1987, s. 667-672.
- [86] LÜBRICH W., Die Wirkung dynamischer Kräfte beim Aufprall des Fördergutes auf das Förderband, Braunkohle, Wärme und Energie, Heft 9, 1959.
- [87] LUTYŃSKI A., Wpływ użytkowania na niektóre własności mechaniczne taśm przenośnikowych, Pr.nauk.Inst.Gór.PWr., Nr 45, Wrocław 1985.
- [88] LUTYŃSKI A., Zur Lebensdauer von Fördergurten mit Gewebeeinlagen, Hebezeuge und Fördermitteln, 8/1985.
- [89] LUTYŃSKI A., Nieniszcząca metoda oceny wytrzymałości na rozciąganie przenośnikowej taśmy tkaninowej, Pr.nauk.Inst.Gór.PWr., Nr 50, Wrocław 1988.
- [90] ŁAPIŃSKI M., WŁODARSKI W., Miernictwo elektryczne wielkości nieelektrycznych, WNT, Warszawa 1970.
- [91] MAIER H., Vergleichende Untersuchungen des Beaufschlagungsverhaltens von Gummifördergurten beim senkrechten Aufprall einer Einzelmasse, Dysertacja TU Hannover 1963.
- [92] MALEWSKI J., Przeróbka kopalni, Skrypt PWr., Wrocław 1981.
- [93] MALEWSKI J., A Comparison of Particle Shape Characteristics of Crushed Basalt and Granite, Bulletin of the International Association of Engineering Geology No 29, Paris 1983.
- [94] MARKUSIK S., Dynamika rozruchu przenośników taśmowych z napędem jedno- lub dwubębnowym czołowym, Zesz. nauk. Politechniki Śląskiej, Górnictwo, zeszyt 114, Gliwice 1982.

- [95] MARKUSIK S., Wpływ temperatury otoczenia oraz czasu eksploatacji na reologię taśm przenośnikowych, Pr.nauk.Inst.Gór.PWr., Nr 50, Wrocław 1988.
- [96] MORDSTEIN W., Gummi-Fördergurte für schwere Beanspruchungen, Deutsche Hebe- und Fördertechnik 10/1962.
- [97] MORDSTEIN W., Przedłużenie trwałości taśm przenośnikowych, Pr.nauk. Inst.Gór.PWr., Nr 30, Wrocław 1978.
- [98] MÜLLER R., Elektronische Geräte zur Erfassung von Längsschlitten in Fördergurten, Fördern und Heben, Heft 2, 1972.
- [99] NAYLOR T.H., Modelowanie cyfrowe systemów ekonomicznych, PWN, Warszawa 1975.
- [100] Norm DIN 22 102 Fördergurte mit Textileinlagen, 1970.
- [101] Norm DIN 22 102 Fördergurte mit Textileinlage, Vornorm, 1982.
- [102] Norm DIN 22 131 Fördergurte mit Stahlseileinlagen, Masse und Kennzeichnung, Güteanforderungen, Prüfung, Gurtverbindung.
- [103] OEHMEN H., Zur Forschung und Technologie an Gurtförderern, Fördern und Heben, Heft 9, 1977.
- [104] OEHMEN H., ALLES R., Stosskraftmessungen an Förderbandtragrollen und Untersuchungen der Durchgangsform von Fördergurten, Sonderdruck aus Braunkohle, Wärme und Energie, Heft 12, 1972.
- [105] OEHMEN K.H., Zur Berechnung zusätzlicher Dehnungen in Stahlseilgurten infolge Kurvenführungen und Muldungsübergängen, Braunkohle, Heft 6, 1977.
- [106] PAUL F., Querarmierung aus elastischen Stahldrahtlitzen erhöht die Durchschlagfestigkeit, Fördern und Heben Nr 12, 1978.
- [107] POREBSKI K., Analiza wpływu rozwiązań konstrukcyjnych węzłów naddawowych na trwałość taśm w kopalniach podziemnych, Praca dyplomowa, Inst.Gór.PWr., Wrocław 1986.
- [108] Praca zbiorowa pod red. ORŁOSIA Z., Doświadczalna analiza odkształceń i naprężeń, PWN, Warszawa 1977.
- [109] Praca zbiorowa pod red. SZCZEPIŃSKIEGO W., Metody doświadczalne mechaniki ciała stałego, PWN, Warszawa 1984.
- [110] PULVERMACHER B., Entwicklungen und Tendenzen auf dem Gebiet von Fördergurten verstärkt mit Kevlar Aramid, Transmatic 1985.
- [111] QUAAS H., Das Verhalten von Gummigurten bei stossartiger Beanspruchung durch grobstückiges Fördergut, Freiburger Forschungshefte, Nr A276, 1963.
- [112] QUAAS H., Betrachtungen zur Berechnung des Bewegungswiderstandes an Gurtbandförderern, Bergbautechnik Nr 12, 1967.
- [113] RATZ W., Fördergurte: Einrichtungen zur elektronischen Überwachung auf Längsrisse, Fördern und Heben, Nr 1, 1972.
- [114] ROBERTS A.W., OOMS M., BENNET D.J., Bulk Solid Conveyor Belt Interaction in Relation to Belt Cleaning, Bulk Solids Handling, Vol. 7, No 3, Juni 1987, s. 355-362.
- [115] RUFFING A., Erfahrungen der Saarbergwerke AG mit Gewebegurten verstärkt mit Kevlar, Seminar Kevlar in Fördergurten, Du Pont, Geneva 1984.
- [116] SANNEMANN J., Ein Telemetriesystem zur Untersuchung der Beanspruchung von Fördergurten mit Stahlseileinlagen im laufenden Betrieb, Dysertacja, TU Hannover 1975.

- [117] SAPKOWSKA J., WIECZOREK W., Problemy regeneracji taśm w KWB "Turów", Pr.nauk.Inst.Gór.PWr., Nr 48, Seria: Konferencje Nr 16, Wrocław 1986.
- [118] SCHULZ G., Beitrag zur Untersuchung des dynamischen Verhaltens von Gurtbandförderern unter besonderer Berücksichtigung mittels untersynchroner Stromrichter-kaskade stellbarer Antriebe, Dysertacja, Bergakademie Freiberg 1985.
- [119] SCHWARZ F., Untersuchung zum Eindrückrollwiderstand zwischen Fördergurt und Tragrolle, Dysertacja, TU Hannover 1966.
- [120] SKARŻYŃSKI R., Eksploatacja taśm przenośnikowych w kopalni ZG "Rudna", Pr.nauk.Inst.Gór.PWr., Nr 45, Seria: Konferencje Nr 9 Wrocław 1985.
- [121] SOHNEMANN R., HEYNHOLD J., RICKERT K., Ermittlung des Beaufschlagungs- und Schlitzwiderstandes von querarmierten Stahlseilgurten, Glückauf-Forschungshefte 41 (1980) H. 5, s. 211-213.
- [122] SÖNKSEN H., Korrosionsschutz von Seilen als Zugträger in Fördergurten, Braunkohle 39 (1987), Heft 7, s. 254-361.
- [123] SPINKA H., Fördergurte im Steinkohlenbergbau von der Baumwolle bis zum Aramid-MGR Sympozjum, Haga 1982.
- [124] SPINKA H., Korrosionsfestigkeit von Fördergurten, Glückauf Nr 22, 1982.
- [125] STRZYŻ J., Betrachtungen zum optimalen Aufbau von Gummifördergurten mit Textileinlagen, Bergbautechnik Nr 10, 1965.
- [126] SZATKOWSKI R., Doświadczenia z eksploatacji przenośników taśmowych w podziemnych zakładach rud miedzi ze szczególnym uwzględnieniem problemu zużycia taśm, Praca magisterska, Inst.Gór.PWr. Wrocław 1987 (nie publ.).
- [127] ŚCIEGOSZ W., Naprężenia w taśmie przenośnika, Węgiel Brunatny Nr 1, 1962.
- [128] TESSMANN U., Aufbau und Prüfkonzept eines Impact-Gurtprüfstandes, Transmatic 1985.
- [129] TESSMANN U., Verschleiss von Bergbau-Fördergurten durch Aufgabe stückigen Gutes in Abhängigkeit von Aufgabeparametern und Gurtkonfektion, Braunkohle 40 (1988), Heft 1/2, s. 29-35.
- [130] Van LEYEN H., Der Tragrollenabstand bei Gummigurtförderern und sein Einfluss auf die Gurtbeanspruchung und die Laufwiderstände, Deutsche Hebe- und Fördertechnik, 8/1962.
- [131] VIERLING P., Zum dynamischen Verhalten von Gummifördergurten mit Gewebeeinlagen, Dysertacja, TH Hannover 1961.
- [132] VIERLING A., Zur Theorie der Bandförderung, Continental-Transportband-Dienst Bd. 3, Auflage, Hannover 1972.
- [133] VIERLING A., MAIER H., Untersuchungen zum Beaufschlagungsverhalten von Gummifördergurten, Fördern und Heben, H. 11, 1964.
- [134] VOGEL R., FRANK J.T., Zerstörungsfreie Überwachung von Stahlseilfördergurten, Glückauf 1987, Nr 20, s. 1251-1255.
- [135] Von STEIN R., Optimierung der Übergabezone von Gurtförderanlagen, Dysertacja, Universität Hannover 1985.
- [136] WAJDA A., Obliczanie trwałości taśm przenośnikowych na podstawie danych eksploatacyjnych, Górnictwo Odkrywkowe Nr 1, 1975.
- [137] WAJDA A., Wpływ charakteru urobku oraz konstrukcji trasy przenośnika na stabilność transportowanych brył, Raport Inst.Gór.PWr. Seria: PRE Nr 87, 1979 (nie publ.).

- [138] WAJDA A., KAWALEC W., JURDZIAK L., Badanie trwałości taśm St w KWB "Konin" oraz podsumowanie wyników badań przeprowadzonych w kopalniach węgla brunatnego, Raport Inst.Gór.Pwr., Nr 71 Wrocław 1985 (nie publ.).
- [139] WALLTHOR R.H., Entwicklungsrichtungen bei Fördergurten im Steinkohlenbergbau, Glückauf Nr 12, 1976.
- [140] WALLTHOR R.H., Gurtförderung im Steinkohlenbergbau unter Tage unter besonderer Berücksichtigung der Probleme an Fördergurte, Braunkohle Nr 6, 1979.
- [141] WEIGEL T., Beitrag zur Kurvengängigkeit von Bandförderanlagen unter besonderer Berücksichtigung der normalen Gummifördergurte, Dysertacja, Universität Karlsruhe 1976
- [142] WESTPHAL H., Fördergurte-Herstellung und Anwendung, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1983.
- [143] WESTPHAL H., Optimierung von Fördergurten mit Textil-Einlagen, Hebezeuge u. Fördermittel 25, 1985.
- [144] WINTER H., Ein Beitrag zur Bestimmung der effektiven Lebensdauer von stossartig beanspruchten Fördergurten, Dysertacja, Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar, 1986.
- [145] WINTERBERG H., Untersuchungen zum Einfluss von Beladung, Vorspannkraft und Geschwindigkeit auf die Antriebskraft langer Förderbandanlagen, Dysertacja, TU Hannover 1966.
- [146] WOLF G.H., SINGENSTROTH F., Der Einfluss der Cordkonstruktion auf die Haftung Gummi/Stahl, Kautschuk und Gummi, Kunststoffe Nr 5 1981.
- [147] WOLF G.H., SINGENSTROTH F., Der Einfluss der Cordkonstruktion auf die Haftung Gummi/Stahl, Teil 2: Betrachtungen zur dynamischen Beanspruchung von Fördergurtseilen, Kautschuk-Gummi, Kunststoffe 38 (1985), Nr 10, s. 908-911.
- [148] WOLLENICK K., Verschleiss von Gurtbandanlagen beim Fördern von Frischbeton, Hebezeuge und Fördermittel 17/9/1977.
- [149] ZYSKA B., DECOWSKI A., KROLIKOWSKI A., Metoda przyspieszonych badań zmęczeniowych taśm z rdzeniem tkaninowym, Pr.nauk.Inst.Gór.Pwr., Nr 45, seria: Konferencje Nr 9, Wrocław 1985.
- [150] ŻUR T., Metoda obliczania trwałości taśm przenośnikowych, Górnictwo Odkrywkowe Nr 1, 1975.
- [151] ŻUR T., Przenośniki taśmowe w górnictwie, Wyd. Śląsk, Katowice 1979.
- [152] ŻUR T., Die Grundlagen einer Berechnungsmethode zur Bestimmung der Lebensdauer von Fördergurten, Neue Bergbautechnik, H. 9, 1983, s. 513.
- [153] ŻUR T., Viscoelastic Properties of Conveyor Belts. Modelling of Vibration Phenomena in Belt Conveyors During Starting and Stopping, Bulk Solids Handling No 3, 1986.
- [154] ŻUR T., Viscoelastic Properties of Conveyor Belts. Properties of Aramid Belts, Bulk Solids Handling, Vol. 6, No 6, 1986.
- [155] ŻUR T., HARDYGÓRA M., Wpływ procesu zmęczeniowego zginania taśmy przenośnikowej na zmiany wytrzymałości na rozwarstwianie międzyprzekładkowe, Prace Naukowe Centralnego Programu Badań Podstawowych O2.O5. II Konferencja CPBF, Jaszowiec 1988.

FUNDAMENTALS FOR RATIONAL SELECTION OF CONVEYOR BELTS' PARAMETERS
CONSIDERING THE SERVICE CONDITIONS OF CONVEYOR BELTS IN MINES

The selection methods of conveyor belt, existing hitherto, based only on the longitudinal belt strength criterion do not warrant any rational choice of belts. They do not take into consideration the influence of constructional and material belt parameters, conveyor construction and parameters of the transported material upon the belt durability. The problem became especially significant in the recent years when the belts of very high strengths were introduced to mining industry. They are very expensive thus users are forced to look for the methods of their rational selection and to increase their durability on the conveyor. Many year studies on belt durability conducted by the author in Polish mining industry made it possible to define the fundamentals for the elaboration of the simulation model of the process of occurring damages in the belt during its operation on the conveyor. For the simulation studies it was necessary to determine series of relationships between the energy of falling bodies and damages occurring in the belt in different working conditions. The results of the complex studies on belts at dynamic loads were presented in the paper. They constitute one of the significant elements of data base in the simulation model. The elaborated model was verified for the conditions of "Rudna" copper mine, which was chosen due to especially difficult working conditions of belts existing in the mine. The results of the statistic and graphic verification were found satisfactory. Making use of the worked out model the series of simulation examinations were performed: they showed the possibilities of applying the elaborated model to the analysis of belt parameter selection for the service conditions. The paper is concluded with some recommendations for the rational belt selection and the directions of further studies in this field.

Translated by Joanna Leszkiewicz

ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ КОНВЕЙЕРНЫХ ЛЕНТ С УЧЕТОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ ГОРНЫХ КОНВЕЙЕРНЫХ ЛЕНТ

Существующие методы выбора конвейерных лент основаны только на критерии общей прочности лент и не позволяют на ее рациональный выбор. Они не учитывают, между прочим, влияния конструктивных параметров лент, конструкции конвейера и параметров транспортируемой добычи на срок службы лент. В последнее время эта проблема имеет большое значение, связано это с применением лент с большой прочностью и одновременно с высокой стоимостью. Все это заставляет потребителей искать рациональных методов их выбора и увеличение срока службы на конвейере.

Многолетние опыты, проведенные автором в польском горном деле, касающиеся срока службы лент, позволяют разработать симуляционную модель процесса возникновения повреждений в ленте во время ее работы на конвейере. Для симуляционных исследований следовало определить ряд зависимостей между энергией падающих тел и возникшими во время работы повреждениями в ленте. В данной работе рассматриваются результаты комплексных исследований с динамическими нагрузками. Это один из существенных элементов базы данных в симуляционной модели. Разработанная модель проверена для условий медного рудника "Рудна", так как в этом руднике очень трудные условия работы. Результаты статистической и графической проверки оказались удовлетворительными. Используя разработанную модель проверен ряд симуляционных исследований. На основе этого видно, что разработанную модель возможно применять во время анализа выбора параметров ленты для эксплуатационных условий. Работа заканчивается рекомендацией, касающейся рационального выбора и направления дальнейших исследований.

Перевела Зофя Вајда

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie	4
1.1. Wstęp	4
1.2. Warunki pracy taśmy na przenośniku taśmowym	4
1.3. Analiza procesu powstawania uszkodzeń na taśmie przenośnikowej	6
1.4. Analiza trwałości taśm przenośnikowych w wybranych kopalniach odkrywkowych i podziemnych	8
1.5. Analiza stosowanych metod doboru taśm przenośnikowych	11
1.5.1. Ocena metod doboru taśm przenośnikowych	15
2. Cel i zakres pracy	16
3. Model procesu powstawania uszkodzeń w taśmie przenośnikowej	17
3.1. Założenia modelu	17
3.2. Opis modelu	18
3.3. Program symulacyjny	22
4. Badania eksperymentalne odporności taśm przenośnikowych na obciążenia dynamiczne	29
4.1. Analiza literatury z zakresu badań odporności taśm na obciążenia dynamiczne	29
4.2. Program badań eksperymentalnych	33
4.3. Opis stanowisk badawczych i metod pomiaru	34
4.4. Wyniki badań eksperymentalnych	37
4.5. Analiza wyników badań eksperymentalnych	39
4.5.1. Analiza wyników badań taśm z linkami stalowymi	39
4.5.1.1. Zależność siły uderzenia od energii spadającej bryły	40
4.5.1.2. Zależność wielkości uszkodzeń taśmy od energii i siły uderzenia	43
4.5.1.3. Wpływ uderzeń wielokrotnych na wielkość uszkodzeń	44
4.5.1.4. Wpływ rodzaju konstrukcji taśmy na jej odporność na przebicie	45
4.5.1.5. Wpływ grubości okładek na odporność na przebicie	46
4.5.1.6. Wpływ rodzaju gumy okładkowej na odporność na przebicie	47
4.5.1.7. Wpływ kształtu końcówki udarowej na odporność na przebicie	48
4.5.1.8. Wpływ sposobu podparcia taśmy na odporność na przebicie	49
4.5.2. Analiza wyników badań eksperymentalnych taśm tekstylnych	51
4.5.2.1. Zależność siły uderzenia od energii spadającej bryły	51

4.5.2.2. Wpływ konstrukcji rdzenia taśmy na jej odporność na przebicie	52
4.5.2.3. Wpływ sposobu podparcia taśmy tekstylnej na jej odporność na przebicie	53
4.5.2.4. Analiza charakteru uszkodzeń	57
4.6. Podsumowanie wyników badań	59
5. Weryfikacja modelu	60
6. Przykładowe obliczenia symulacyjne i ich analiza	76
6.1. Badanie wpływu parametrów taśmy na jej trwałość	77
6.2. Badanie wpływu parametrów konstrukcyjnych przenośnika na trwałość taśmy	78
6.3. Badanie wpływu parametrów transportowanego urobku na trwałość taśm	81
7. Zalecenia do racjonalnego doboru taśm	83
8. Podsumowanie i kierunki dalszych badań	84
Literatura	85

CONTENTS

1. Introduction	4
1.1. Preface	4
1.2. Conditions of belt operation on belt conveyor.	4
1.3. Analysis of damages in belt conveyor	6
1.4. Analysis of conveyor belt durability in chosen strip mines and mines.	8
1.5. Analysis of methods of selecting conveyor belts.	11
1.5.1. Evaluation of methods of conveyor belt selection	15
2. Aim and range of paper	16
3. Model of damaging of belt conveyor	17
3.1. Model assumptions	17
3.2. Model description	18
3.3. Simulation programme	22
4. Experimental investigations of impact resistance of conveyor belts	29
4.1. Analysis of literature concerning impact resistance of conveyor belts.	29
4.2. Programme of experimental investigations	33
4.3. Description of test stands and measurement methods	34
4.4. Results of experimental investigations.	37
4.5. Analysis of results of experimental investigations.	39
4.5.1. Analysis of test results concerning belts equipped with steel rope	40

- 4.5.1.1. Dependence of impact force upon energy of falling lump 40
- 4.5.1.2. Dependence of damage degree of belt upon energy and impact force 43
- 4.5.1.3. Effect of multiple impacts on damage degree 44
- 4.5.1.4. Effect of belt design on its impact resistance 45
- 4.5.1.5. Effect of belt cover thicknesses on impact resistance of belt. 46
- 4.5.1.6. Effect of rubber kind of cover on input resistance of belt. 47
- 4.5.1.7. Effect of impact ram on impact resistance of belt 48
- 4.5.1.8. Effect of manner of belt support on its impact resistance 49
- 4.5.2. Analysis of results of experimental investigations concerning textile belt 51
 - 4.5.2.1. Dependence of impact force upon energy of falling lump. 51
 - 4.5.2.2. Effect of belt core construction on its impact resistance 52
 - 4.5.2.3. Effect of manner of textile belt support on its impact resistance 53
 - 4.5.2.4. Analysis of damages 57
- 4.6. Recapitulation of results 59
- 5. Model verification. 60
- 6. Exemplary simulation calculations and their analysis. 76
 - 6.1. Examining the effect of belt parameters on its durability. 77
 - 6.2. Examining the effect of construction parameters of conveyor on belt durability 78
 - 6.3. Examining the effect of parameters of material winned on belt durability. 81
- 7. Recommendation of efficient belt selection. 83
- 8. Summary and directions of further investigations. 84
- Literature 85

PRACE NAUKOWE INSTYTUTU GÓRNIC'TWA
(wydane w latach 1984—1989)

Nr 43, Monografie nr 20, Z. Parka, S. Ślusarczyk, <i>Stratygrafia osadów karbońskich podłoża monokliny przedsudeckiej</i> , Wrocław 1988	140,—
Nr 44, Konferencje nr 8, <i>Problemy i kierunki rozwoju technologii górniczych</i> , Wrocław 1984	87,—
Nr 45, Konferencje nr 9, <i>Podstawowe problemy transportu kopalnianego</i> , Wrocław 1985	240,—
Nr 46, Monografie nr 21, H. Wojtkiewicz, <i>Metody prognozowania oporów kopania skał luźnych wielonaczyniowymi koparkami kołowymi</i> , Wrocław 1986	90,—
Nr 47, Monografie nr 22, T. Górecka, A. Górecka, <i>Silesz Dolnośląskiego Zagłębia Węgla Kamiennego w świetle badań palinostratygraficznych</i> , Wrocław 1986	110,—
Nr 48, Konferencje nr 10, <i>Podstawowe problemy transportu kopalnianego</i> , Wrocław 1986	130,—
Nr 49, Studia i Materiały nr 17, <i>Wybrane problemy geologii złożowej i kopalnianej</i> , Wrocław 1987	180,—
Nr 50, Konferencje nr 11, <i>Podstawowe problemy transportu kopalnianego</i> , Wrocław 1988	240,—
Nr 51, Studia i Materiały nr 18, <i>Wybrane problemy przewietrzania kopalń rud miedzi i węgla kamiennego</i> , Wrocław 1989	310,—

511/3-102/90

Cena zł 1500,—

**Subscription should be sent (at any time of the year) to:
„Ars Polona”**

Krakowskie Przedmieście 7, 00-068 Warszawa

Bank account number: PBK XIII Oddz. W-wa 370044-1195-139-11

Zamówienia na prenumeratę można składać:

OR PAN, PKiN, 00-901 Warszawa

Nr konta bankowego: PBK IX Oddz. W-wa, 370031-4792

Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej

ma stale na składzie Księgarnia Wr 49

Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

oraz Wojewódzka Księgarnia Techniczna

ul. Świdnicka 8, 50-067 Wrocław

ISSN 0324-9689