

Lech Gładysiewicz, Witold Kawalec**

DŁUGIE, ENERGOOSZCZĘDNE PRZENOŚNIKI TAŚMOWE

1. Wprowadzenie

W konstrukcjach przenośników taśmowych z powodzeniem wykorzystywane są nowe technologie i materiały. Doskonalone są główne podzespoły przenośników. Równolegle rozwijane są metody i narzędzia obliczania przenośników, co służy wszechstronnej analizie wpływu parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych na pracę przenośnika taśmowego [8, 13]. Obecnie można projektować przenośniki coraz lepiej dostosowane do zadań eksploatacyjnych i o mniejszym zużyciu energii. Jest to istotne zwłaszcza w przypadku dużych systemów transportowych oraz przenośników dalekiego zasięgu, których jednostkowe projekty pozwalają na większą swobodę w zakresie doboru podzespołów i ich konfiguracji [11]. Miarą postępu w ostatnich latach jest pokonanie kolejnej bariery długości pojedynczego przenośnika taśmowego z taśmą nieckową — 20 km [1].

W perspektywie budowy systemów transportowych dla wyrobiska „Szczerców” PGE KWB „Bełchatów” SA, nowych wyrobisk kopalń „Konin” i „Adamów” oraz możliwości taśmowej odstawy węgla z planowanych wyrobisk odkrywkowych do istniejących elektrowni (np. z kopalni „Piaski” do elektrowni „Adamów”, „Dęby Szlacheckie” do elektrowni „Pątnów”, „Rogóźno” do elektrowni „Adamów” i „Złoczew” do elektrowni „Bełchatów 2” poprzez stację załadowniczą węgla kopalni „Szczerców”) przed projektantami tych systemów otwierają się możliwości wdrożenia nowych technologii transportu taśmowego [12].

Przenośniki zyskują na znaczeniu również w krajach tradycyjnie przywiązanych do transportu kołowego, takich jak Australia i USA [3], głównie za sprawą wysokich w ostatnich latach cen paliw płynnych oraz ograniczeń ekologicznych. Transport przenośnikami taśmowymi jest celowy zwłaszcza w wypadku konieczności zapewnienia ciągłości strumienia nosiwa o ustabilizowanej, dużej wydajności (np. dostawa węgla do elektrowni). Dotychczas trasy o długości rzędu kilkunastu-kilkudziesięciu kilometrów były obsługiwane głównie koleją (np. w adamowsko-konińskim kompleksie węglowo-energetycznym lub

* Instytut Górnictwa, Politechnika Wroclawska, Wroclaw

w zagłębiach niemieckich). Porównania kosztów dowodzą jednak, że transport przenośnikami taśmowymi jest w takich warunkach tańszy od szynowego i drogowego [15]. Z tego względu, w ostatnich latach, w różnych częściach świata, oddano do użytku lub jest w budowie kilkanaście długich, przenośnikowych tras węglowych.

2. Przenośniki dla górnictwa węgla brunatnego

Aktualny stan techniki w zakresie transportu taśmowego oraz poziom zużycia energii przez napędy główne przenośników stosowanych w polskich kopalniach węgla brunatnego obrazują wyniki pomiarów współczynnika ruchu głównych f . Jednym z najprostszych sposobów wyznaczenia tego współczynnika jest pomiar czasu swobodnego wybiegu przenośnika. Po odłączeniu napędu przenośnik pod działaniem oporów ruchu wytraca swoją prędkość ze stałym przyspieszeniem ujemnym (opóźnieniem) i wówczas przeliczenie współczynnika f jest zadaniem prostym. Wyniki badań przeprowadzonych na przenośnikach pracujących w PGE KWB „Bełchatów” SA przedstawiono w tabeli 1. Jak widać energochłonność tych maszyn zaprojektowanych i wybudowanych według standardów z lat 70. ubiegłego wieku jest stosunkowo wysoka i odbiega od najnowszych osiągnięć współczesnych przenośników dalekiego zasięgu [11]. W związku z tym należy zastanowić nad możliwymi źródłami oszczędności energii w transporcie taśmowym.

TABELA 1

Wyniki pomiarów współczynnika oporów głównych f na przenośnikach w PGE KWB „Bełchatów” SA

Przenośniki przesuwne			
węglowe		nadkładowe	
obciążone	nieobciążone	obciążone	nieobciążone
0,021±0,03	0,015±0,043	0,021±0,040	0,018±0,028
Przenośniki stacjonarne			
węglowe		nadkładowe	
obciążone	nieobciążone	obciążone	nieobciążone
0,021±0,024	0,021±0,025	0,029±0,031	0,023±0,028

Możliwe kierunki modernizacji mających na celu obniżenie energochłonności transportu taśmowego najlepiej obrazują wyniki wielowariantowych analiz. Wykorzystując dokładną metodę obliczeń oporów ruchu (oporów jednostkowych), oprogramowaną w autorским programie QNK-TT wykonano serie eksperymentów numerycznych dla poziomo usytuowanego przenośnika nadkładowego o długości 2 km i wydajności 6000 m³/h. Badania te

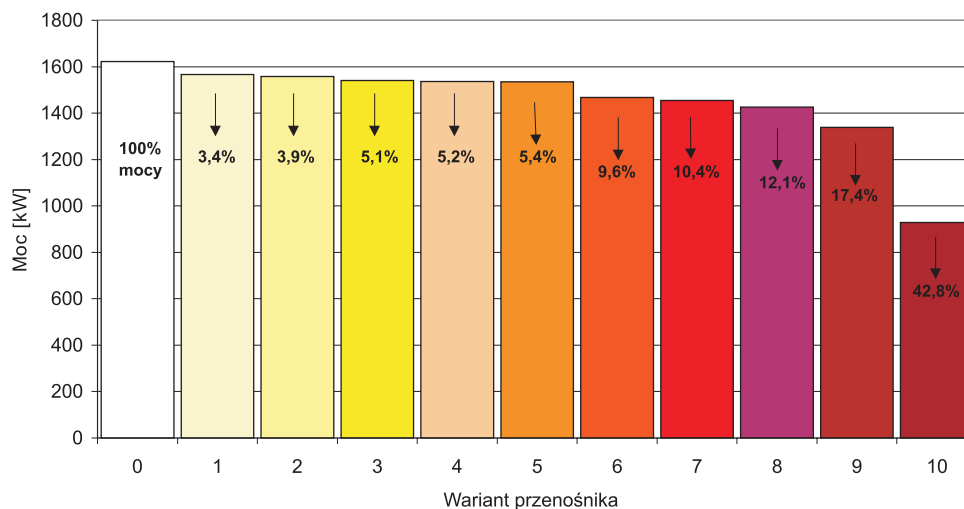
miały na celu wskazanie efektów oraz sposobów zmniejszenia oporów ruchu przenośnika i wytypowania głównych kierunków usprawnień. Parametry wyjściowe analizowanego przenośnika zawiera tabela 2. Zbiorcze wyniki analiz przedstawiono na wykresie słupkowym na rysunku 1.

Z otrzymanych obliczeń wynika, że w przypadku zastosowania w miejsce przenośnika standardowego wariantu optymalnego średnie opory ruchu przypadające na pojedynczy zestaw krążnikowy w cięgnie górnym spadają z 161,4 N do 74,8 N. Największe efekty uzyskuje się redukując dwie największe składowe tych oporów: opór toczenia taśmy po krążnikach (spadek z 49,8 N do 34,5 N) oraz opór obracania krążników (spadek z 40,7 N do 19,4 N). Wykorzystując wszystkie możliwe usprawnienia można doprowadzić do zmniejszenia obliczeniowego współczynnika oporów głównych (przy temperaturze pracy 15°C) z poziomu $f = 0,026$ (przenośnik standardowy) do poziomu $f = 0,0123$ (przenośnik optymalny). Warto zwrócić uwagę, że jednym z parametrów konstrukcyjnych przenośnika wpływających istotnie na wielkość oporów ruchu jest wielkość kąta niecki w cięgnie górnym. Zmniejszenie kąta niecki z 45° do 35° daje w efekcie obniżenie oporów ruchu cięgna górnego o ok. 9,6% (rys. 1). Wiąże się to jednak ze zmniejszeniem nominalnego przekroju strugi urobku, a zatem pojawia się problem wydajności przenośnika. Można wówczas zrekompensować wpływ mniejszego kąta niecki zwiększeniem prędkości taśmy. Przyszłościowym rozwiązaniem dającym dobre efekty zmniejszenia energochłonności napędu przenośnika mogą być inteligentne zestawy krążnikowe [5].

TABELA 2

Parametry analizowanego przenośnika dużej wydajności w kopalni węgla brunatnego [7]

Parametr	Przenośnik standardowy
wydajność efektywna / szczytowa	6 000 m ³ /h / 10 000 m ³ /h
szerokość taśmy	2 250 mm
prędkość taśmy	5,24 m/s
opory obracania krążnika zmierzone / normowe	13 N/6,5 N
kąt niecki zestawów górnych	45°
zbieganie boczne taśmy	przeciętne (krawędź boczna taśmy nie wybiega poza krążnik boczny)
zestawy krążnikowe	górne — trójkrażnikowe przegubowe, dolne — dwukrażnikowe z pierścieniami gumowymi
temperatura pracy przenośnika	15°C
zastosowana taśma	St 3150, okładka bieżna 7 mm, okładka nośna 14 mm, twardość gumy okładkowej 60°Sh.



Rys. 1. Porównanie obliczonych oszczędności mocy napędu głównego dla różnych wariantów modernizacji mających na celu obniżenie oporów ruchu przenośnika [7]: 0 — przenośnik standardowy (wyjściowy — tab. 1), 1 — zastąpienie przegubowych zestawów kółkowych w ciągnie górnym zestawami sztywnymi; 2 — zmniejszenie grubości okładki nośnej z 14 do 7 mm bez zmiany mieszanki gumowej, 3 — obniżenie do minimum zbiegania bocznego taśmy w wyniku precyzyjnego montażu trasy przenośnika; 4 — zmniejszenie kąta niecki w ciągnie górnym z 45 do 40°; 5 — zastosowanie kółkowych z gładkim płaszczem stalowym w ciągnie dolnym i odwracania taśmy dolnej; 6 — zmniejszenie kąta niecki w ciągnie górnym z 45 do 35°; 7 — zastosowanie specjalnej (energooszczędnej) mieszanki gumowej na okładkę bieżną, 8 — zmniejszenie grubości okładki nośnej taśmy z 14 mm do 7 mm przy jednoczesnym zastosowaniu mieszanki; 9 — zastosowanie kółkowych o zmniejszonych oporach obracania (z 13 do 6,6 N); 10 — przenośnik optymalny (z zastosowanymi wszystkimi wariantami)

Według koncepcji autorów tego rozwiązania [5] górne zestawy przegubowe podwieszane są na elastycznych elementach, co powoduje, że cały zestaw stosownie do załadowania ciągną górnego transportowanym urobkiem zmienia kąt niecki (mały kąt niecki ok. 30° dla taśmy załadowanej w niewielkim stopniu i duży kąt niecki do 45° przy pełnym załadunku).

Wnioski z tych wyników obliczeń wykorzystano do wstępnego studium możliwości zastosowania przenośników dalekiego zasięgu do transportu węgla brunatnego z projektowanych wyrobisk odkrywkowych do istniejących elektrowni [9], wykonanego w ramach programu badawczego Foresight „Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywania i przetwórstwa węgla brunatnego”. Kluczowe były kwestie opracowania głównych założeń technicznych przenośników dalekiego zasięgu dla analizowanych scenariuszy wydobywania węgla brunatnego oraz oszacowanie opłacalności odstawy węgla przenośnikami w porównaniu z dotychczas stosowaną odstawą szynową.

Najpoważniejsze zadanie transportowe ze względu na wymaganą wydajność (około 15 mln t/rok, średnio 3 500 t/h) oraz odległość (ok. 32 km) to trasa Złoczew–Szczerców.

TABELA 3
Parametry przenośników trasy Zloczew–Szczerców; wydajność średnia: 3 500 t/h [12]

Przenośnik	Długość trasy, m	Wznios trasy, m	Obliczony, uśredniony w skali rocznej współczynnik oporów głównych, <i>f</i> , bezw.	Moc obliczona, kW	Jednostki napędowe, kW	Jednostkowe zużycie energii na przenośniku, Wh/t · m	Zużycie energii przez przenośnik (lub ciąg) na tonę urobku, kWh/t
ZB-1	1 200	0	0,0143	401	2 × 630	0,0954	0,1145
ZB-2	300	15	0,0147	210	2 × 315	0,2000	0,0600
ZB-3	3 800	29	0,0149	1 455	4 × 630	0,1094	0,4156
ZB-4	9 600	-5	0,0146	2 747	3 × 1250	0,0818	0,7848
ZB-5	9 000	0	0,0146	2 608	3 × 1250	0,0828	0,7451
ZB-6	7 800	20	0,0147	2 497	3 × 1250	0,0915	0,7134
Razem	31 700	59	0,0146	9 917	13 140	0,0894	2,8335

We wstępnym studium systemu transportu taśmowego dla tej trasy przyjęto, że załadunek węgla powinien odbywać się nie bezpośrednio z przenośników węglowych odbierających urobek z koparek (co wymuszałoby przewymiarowanie jego konstrukcji [8]) tylko ze zbiornika stabilizującego strugę urobku. Przyjęto standardową taśmę z linkami stalowymi St3150. Redukcję głównych oporów ruchu (rys. 1) uzyskano poprzez:

- dobór krążników o normowej wartości oporu obracania (tu: 4 N w temp. 20°C);
- zwiększenie rozstawów krążników do 1,5 m w ciągu górnym oraz do 6,0 m w ciągu dolnym;
- zmniejszenie kąta niecki zestawów górnych ze standardowych 45 do 35°;
- zastosowanie sztywnych zamiast przegubowych zastawów krążnikowych.

Napęd przenośników na stacji czołowej zawiera dwa bębny oraz 3 lub 4 zespoły napędowe; prędkość taśmy: 5,24 m/s. Przyjęto, że stacjonarne przenośniki dalekiego zasięgu są prawidłowo zmontowane i eksploatowane zatem ewentualne zbieganie boczne taśmy lub strugi urobku jest małe (nie są generowane dodatkowe opory ślizgania taśmy na krążnikach).

Aby uwzględnić wpływ warunków klimatycznych przeanalizowano wieloletni rozkład średnich temperatur w kolejnych miesiącach roku na Niżu Polskim. Dla oceny energochłonności odstawy urobku przenośnikami (czyli kosztów transportu) w skali rocznej powiązano ich rozkład wydajności z rozkładem produkcji energii elektrycznej [9, 12].

Zakładając wypełnienie przekroju poprzecznego na poziomie ok. 70% przekroju nominalnego oraz różne warianty organizacji eksploatacji przenośników, ostatecznie zaproponowano konfigurację: taśma St3150 o szerokości 1,6 m, wydajność nominalna 5 000 t/h. Na trasie występują łagodne krzywizny poziome wpływające na wzrost oporów ruchu. Wyniki obliczeń parametrów dla przenośników trasy Złoczew–Szczerców przedstawiono w tabeli 3. Oprócz potrzebnej mocy napędu, wyznaczono jednostkowe zużycie energii na przenośniku oraz zużycie energii przez system transportowy w przeliczeniu na tonę urobku. Te dane są niezbędne dla oszacowania kosztów energii oraz kosztów eksploatacyjnych transportu węgla przenośnikami.

Wstępna analiza kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych (dla 20 lat użytkowania), na podstawie alternatywnych założeń dla kopalni Legnica i opublikowanych danych projektu odniesienia Curragh North [1] oraz obliczonej rocznej energochłonności ciągu transportowego (tab. 1) pozwala na oszacowanie jednostkowego kosztu transportu węgla przenośnikami na tej trasie w przedziale 2,7÷5,1 zł/t (albo 0,05÷0,16 zł/tkm — [12]). Są to wartości znacznie niższe od kosztów odstawy szynowej, toteż można uznać, że wdrożenie energooszczędnych przenośników dalekiego zasięgu warunkuje opłacalny rozwój energetyki opartej na węglu brunatnym.

3. Wpływ taśmy i krążników na opory ruchu przenośnika taśmowego

Największego obniżenia mocy napędu głównego można spodziewać się po zastosowaniu krążników o zmniejszonych oporach obracania. Ta składowa oporów ruchu w decydującym stopniu zależy od konstrukcji i jakości krążnika oraz zastosowanych uszczelnień.

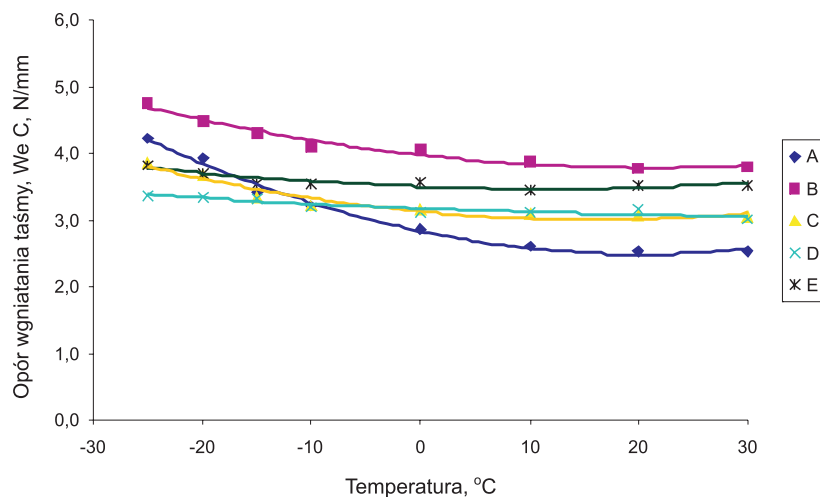
W Instytucie Górnictwa Politechniki Wrocławskiej przy współpracy z PGE KWB „Bełchatów” SA zakończono badania krążników mające na celu obniżenie oporów obracania [14]. Uzyskano istotne efekty zmieniając parametry konstrukcyjne i technologiczne krążników. Punktem wyjścia były badania krążników standardowych. Po wstępnej analizie okazało się, że krążniki standardowe o średnicy 190 mm i długości płaszcza 800 mm charakteryzowały się oporem obracania większym niż górna granica określona normą wynosząca 6,5 N. W wyniku badań udało się zmniejszyć te opory do poziomu ok. 10 N przy zachowaniu tradycyjnego uszczelnienia labiryntowego. Równocześnie opracowano nowe uszczelnienie dwustopniowe, składające się z uszczelnienia ferromagnetycznego i uszczelnienia odśrodkowego. Po zastosowaniu tego uszczelnienia średni opór obracania krążnika został obniżony do poziomu 4,07 N. Badając i analizując różne rozwiązania uzyskano następujący spadek oporu obracania krążnika:

- w wyniku zmian tolerancji wykonania elementów uszczelnienia o 13%,
- w wyniku poprawy osadzenia łożyska o 25%,
- w wyniku doboru optymalnego smaru o 17%,
- w wyniku zastąpienia uszczelnienia labiryntowego uszczelnieniem ferromagnetycznym o 39%.

Innym ważnym kierunkiem działań w celu zmniejszenia energochłonności napędu głównego przenośnika jest obniżenie oporu toczenia taśmy po krążnikach (oporu wgniatania taśmy). Opór ten zależy od właściwości taśmy, a przede wszystkim od parametrów mieszanki gumowej okładki bieżnej. W celu poszukiwania najlepszych mieszanek gumowych prowadzone są badania i analizy dynamiczne mające na celu wyznaczenie współczynnika tłumienia i modułu sprężystości przy cyklicznym obciążaniu (dogniataniu) w szerokim zakresie temperatury pracy taśmy [2, 4]. Najważniejszymi składnikami mieszanki gumowej są kauczuki, napełniacze, substancje wulkanizujące, przyspieszacze i aktywatory, plastyfikatory, antypiryny, substancje przeciwstarzeniowe i inne. Poprzez odpowiedni dobór tych składników można otrzymać mieszanek gumową na okładkę bieżną o określonych parametrach wytrzymałościowych, twardości i ścieralności.

Badania dla różnych okładek różniących się składem mieszanki gumowej zostały przeprowadzone w Laboratorium Transportu Taśmowego Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Wyznaczone w badaniach parametry mieszanki gumowej uwzględniono w obliczeniach jednostkowego oporu toczenia taśmy (oporu przeliczonego na jednostkę długości krążnika). Wyniki obliczeń dla pięciu różnych mieszanek gumowych pokazano na rysunku 2.

Z badanych okładek najkorzystniejsze opory toczenia taśmy po krążnikach w całym zakresie możliwej temperatury pracy przenośnika tj od -30 do $+30^{\circ}\text{C}$ generuje mieszanka A. Jeżeli przenośnik przewidywany jest do częstej pracy w temperaturze otoczenia poniżej -10°C , to najlepsze będą mieszanki C i D.



Rys. 2. Przeliczone wartości jednostkowego oporu toczenia taśmy (lub wgniatania taśmy) w oparciu o zmierzone w badaniach laboratoryjnych parametry mieszanek gumowych [2]

4. Analizy i badania eksploatacyjne

Z praktycznego punktu widzenia ważnym zagadnieniem jest weryfikacja wytyczonych kierunków modernizacji transportu taśmowego. W tym celu zaplanowano szereg badań na przenośniku nadkładowym pracującym w PGE KWB „Bełchatów” SA. Długość transy przenośnika wynosi 1 205 m. Przy wysokości podnoszenia 12 m średni kąt nachylenia przenośnika wynosi 0,6°. Podstawowe parametry przenośnika zestawiono w tabeli 4.

TABELA 4

Parametry techniczne analizowanego przenośnika nadkładowego

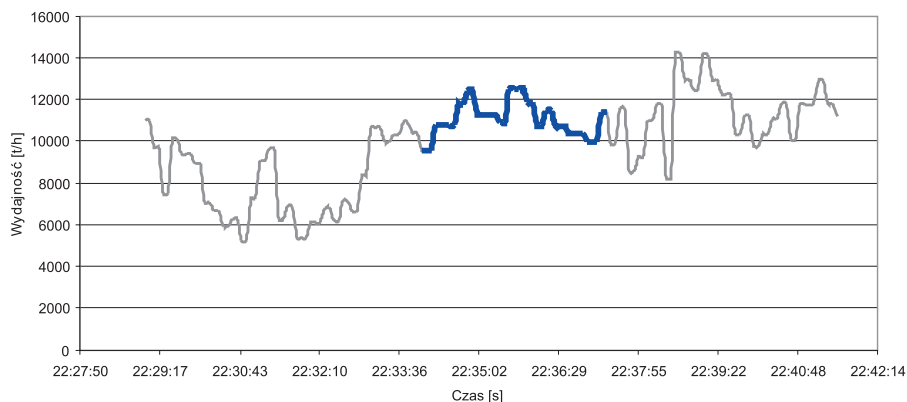
Opis parametru	Jednostka	Wartość
Wytrzymałość taśmy	kN/m	3150
Szerokość taśmy	mm	2250
Kąt niecki krążników górnych	deg	45
Rozstaw krążników górnych	m	1,2
Masa krążnika górnego	kg	39,1
Masa obracających się części krążnika górnego	kg	29,5
Średnica krążnika górnego	m	0,19
Rozstaw krążników dolnych	m	6

TABELA 4 cd.

Opis parametru	Jednostka	Wartość
Ilość krążników dolnych	szt.	2
Kąt niecki krążników dolnych	deg	10
Masa krążnika dolnego	kg	42,4
Masa obracających się części krążnika dolnego	kg	35,01
Średnica krążnika dolnego	m	0,19
Prędkość taśmy	m/s	5,98
Grubość okładki bieżnej taśmy	mm	7
Grubość rdzenia	mm	7
Grubość okładki nośnej	mm	14
Masa 1m ² taśmy	kg/m ²	46,91

W celu wytypowanie efektywnych działań zmierzających do obniżenia oporów ruchu badanego przenośnika prowadzone są analizy teoretyczne bazujące na wielowariantowych obliczeniach przy wykorzystaniu specjalistycznego oprogramowania narzędziowego QNK-TT.

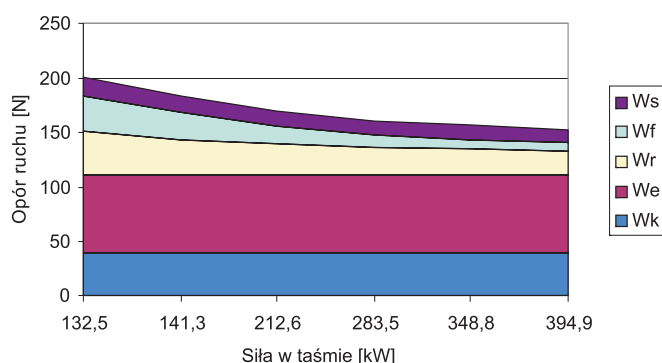
Punktem wyjścia było przyjęcie załadunku ciągna górnego transportowanym materiałem (urobkiem). W oparciu o analizę zmienności strugi urobku wychodzącej z koparki kołowej współpracującej z analizowanym przenośnikiem przyjęto wypełnienie ciągna górnego odpowiadające średniej wydajności zarejestrowanej i zmierzonej na jednej zmianie roboczej ($Q = 10\ 550$ t/h), a będące realizacją przebiegu wydajności z przedziału czasowego wynikającego z czasu załadunku całego ciągna górnego urobkiem (odcinek pogrubiony na wykresie zamieszczonym na rys. 3).



Rys. 3. Przebieg chwilowej wydajności koparki i przenośnika z zaznaczonym przedziałem czasowym odpowiadającym czasowi załadunku całego ciągna górnego

Nie mniej ważnym zagadnieniem jest odpowiedni dobór taśmy (grubość okładki bieżnej, właściwości gumy okładkowej, sztywność i tłumienie przy zginaniu oraz zdolność do układania się taśmy w nieckę) i uwzględnienie tych parametrów w obliczeniach. Oprócz taśmy istotny wpływ na opory ruchu przenośnika mają parametry konstrukcyjne przenośnika, właściwości urobku oraz warunki eksploatacyjne. Szczegółowe algorytmy uwzględniające te grupy czynników wpływowych przedstawiono w pracy [6]. Problem uwzględnienia losowo zmiennych warunków eksploatacyjnych na opory ruchu przenośnika rozwiązany został w pracy [10], gdzie do opisu wpływu trudno mierzalnych parametrów takich jak: niedokładność ustawienia trasy przenośnika, zbieganie boczne taśmy i urobku, niesymetryczność i niejednorodność strugi urobku na trasie przenośnika zastosowano teorię i logikę zbiorów rozmytych. W oparciu o obserwacje przemieszczania się krawędzi bocznej taśmy w stosunku do bocznych krążników zestawu górnego na badanym przenośniku określono klasę zbiegania taśmy i uwzględniono to w algorytmach oprogramowania QNK-TT. Jak widać wiele zadań cząstkowych składających się szerokie zagadnienie wymiarowania i optymalizacji przenośnika taśmowego zostało już rozwiązanych.

Rysunek 4 pokazuje udział wszystkich składowych oporów głównych w przeliczeniu na jeden zestaw krążnikowy wzdłuż ciągu górnego przenośnika



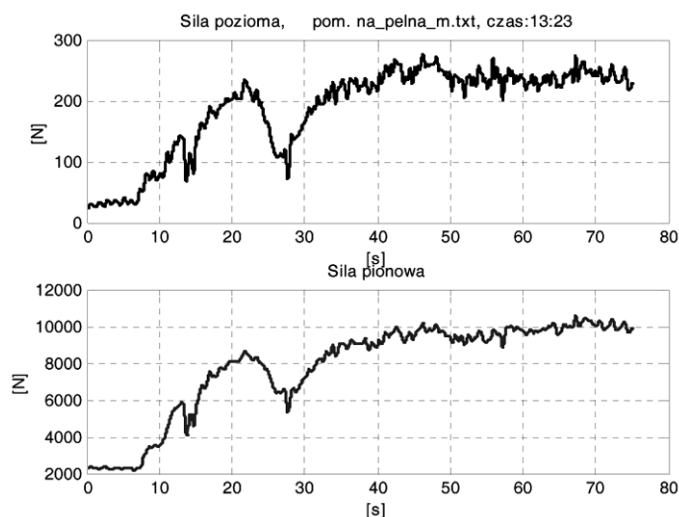
Rys. 4. Udział składowych oporów głównych wzdłuż ciągu górnego analizowanego przenośnika: długość trasy $L = 1\ 205$ m; wysokość podnoszenia $H = 12$ m; gęstość usypowa urobku $\rho = 1\ 600$ kg/m³; średnia wydajność $Q = 10\ 550$ t/h; temperatura otoczenia $T_C = 20^\circ\text{C}$. Przenośnik ze standardową taśmą i standardowymi krążnikami w dobrym stanie technicznym. Oznaczenia: W_k — opór obracania krążników; W_e — opór toczenia taśmy po krążnikach; W_r — opór przeginania taśmy między zestawami krążnikowymi; W_f — opór falowania urobku; W_s — opór tarcia taśmy o krążniki

Na stacji zwrotnej analizowanego przenośnika w obszarze małych sił rozciągających taśmę (ok. 132 kN) sumaryczny opór pojedynczego zestawu osiąga poziom 200 N natomiast w obszarze dużych sił w pobliżu stacji czołowej, gdzie siła w taśmie dochodzi do 395 kN opór ten spada do poziomu ok. 170 N. W całym obszarze ciągu górnego największy udział mają: opór toczenia taśmy po krążnikach który średnio dla całego ciągu górnego stanowi ok. 42% oraz opór obracania krążników, który wynosi 24% oporów głównych. Wykres ten

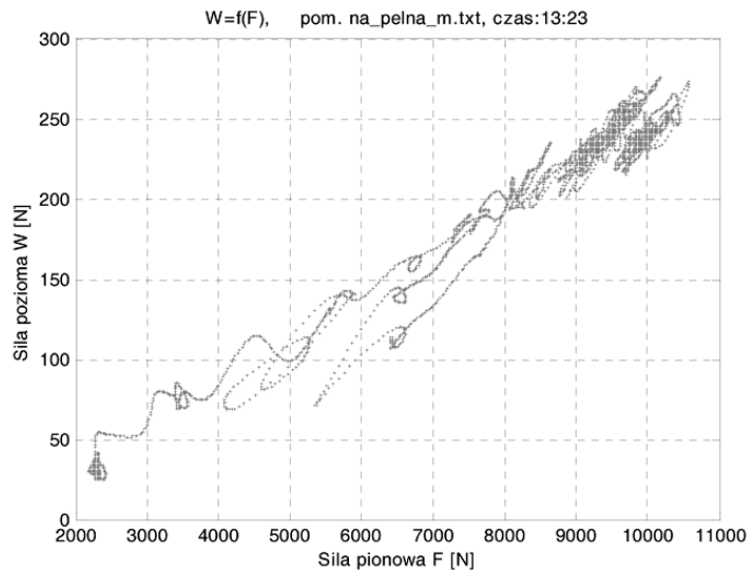
odnosi się do standardowej taśmy St 3150 oraz typowych krążników z uszczelnieniem labiryntowym i z optymalnie dobranym smarem i pasowaniami łożysk [14].

W badaniach symulacyjnych zmieniano parametry w celu określenia wpływu dokonanych zmian na obniżenie energochłonności napędu. Skupiono się przede wszystkim na możliwych efektach wynikających z zastosowania ulepszonych krążników oraz optymalnej mieszanki gumowej na okładkę bieżną taśmy. Z analiz wynika, że zastąpienie krążników z uszczelnieniem labiryntowym o średnich oporach obracania na poziomie 11,3 N (dla pojedynczego krążnika) nowymi krążnikami z uszczelnieniem ferromagnetycznym o oporach obracania wynoszących średnio 5,4 N, można o ok. 40% obniżyć opory główne ciągu górnego analizowanego przenośnika. Kolejnym krokiem było zasymulowanie nowej taśmy, w której zamiast standardowej mieszanki gumowej zastosowano mieszankę wytypowaną w badaniach laboratoryjnych. Uznano, że dla warunków klimatycznych w Polsce najlepsza będzie mieszanka A (zgodnie z oznaczeniami na rys. 2). Obliczenia symulacyjne wykazały, że wpływ mieszanki jest znaczący i można oczekiwać zmniejszenia oporu toczenia na pojedynczym zestawie krążnikowym z 71,0 do 53,4 N czyli o 25%.

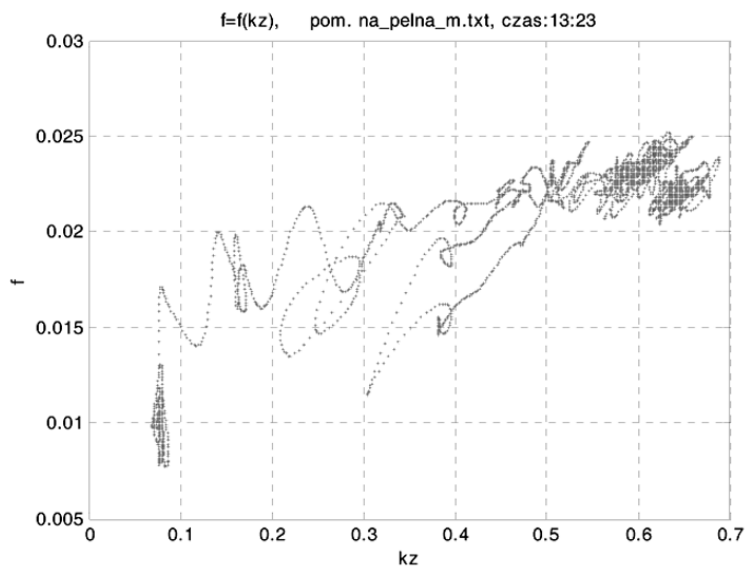
Potwierdzeniem efektów wskazanych w analizach mają być pomiary oporów ruchu na specjalnym członie trasy przenośnika. Badany pojedynczy zestaw przegubowy zawieszony jest na czujnikach tensometrycznych mierzących jego obciążenie pionowe (obciążenie wywołane masą własną taśmy oraz masą transportowanego urobku). Po obu stronach przeguby podtrzymujące pomiarowy zestaw krążnikowy uchwycone są dwoma czujnikami sił poziomymi o dużej czułości. Przyrosty sił zarejestrowane w tych czujnikach są podstawą wyznaczenia sumarycznego oporu ruchu zestawu. Przykładowe wyniki pomiarów na przenośniku przedstawiają rysunki 5–7.



Rys. 5. Zarejestrowany przebieg siły poziomej (oporu ruchu całego zestawu) oraz siły pionowej (wywołanej masą taśmy i urobku)



Rys. 6. Zależność oporu ruchu (siły poziomej) od obciążenia zestawu (siły pionowej)



Rys. 7. Przeliczone wyniki pomiarów przedstawiające zależność współczynnika oporów ruchu f od stopnia załadowania taśmy k_z

Przeprowadzone pomiary na przenośniku pracującym w PGE KWB „Bełchatów” SA wykazały zgodność z wynikami obliczeń. Dysponując sprawdzonym, specjalistycznym opro-

gramowaniem można wykonywać wiarygodne eksperymenty numeryczne a zatem nie wszystkie możliwe modernizacje muszą być weryfikowane na stanowisku pomiarowym. Zaplanowane pomiary mają przede wszystkim zweryfikować podstawowe działania w kierunku obniżenia energochłonności napędu czyli zbadanie wpływu zmodernizowanych krążników oraz taśmy z optymalnie dobraną okładką bieżną.

5. Wnioski

Aktualny stan techniki transportu taśmowego w kraju aczkolwiek spełnia wymagania funkcjonalności i niezawodności to wobec najnowszych dokonań światowych nie spełnia kryteriów energetycznych.

Istnieje wiele możliwości obniżenia energochłonności napędu głównego przenośnika taśmowego. W świetle przedstawionych analiz najbardziej efektywne jest zastosowanie krążników o obniżonych oporach obracania oraz taśmy o dobranych parametrach okładki bieżnej (taśmy energooszczędnej).

W obliczeniach wykazano, że w wyniku zastosowania taśmy energooszczędnej można na przenośniku obniżyć pobór mocy od 11 do 12% a po zainstalowaniu optymalnych krążników od 5 do 10%. Efekty te w skali jednej tylko kopalni odkrywkowej węgla brunatnego mogą być źródłem milionowych oszczędności z tytułu zużycia energii elektrycznej przez napędy główne systemu transportowego.

W projektowaniu długich energooszczędnych przenośników taśmowych przydatnym narzędziem jest system komputerowy QNK-TT dający możliwości wielowariantowych analiz. Wyniki obliczeń uzyskane z programu QNK-TT są zbieżne z wynikami pomiarów oporów ruchu na przenośniku w warunkach eksploatacyjnych.

LITERATURA

- [1] *Bahr A.*: A long story, Australian Longwall Magazine, March 2008
- [2] *Bajda M., Hardygóra M.*: Wpływ temperatury na zmianę wybranych właściwości mechanicznych gumowych okładek taśm przenośnikowych. *Transport Przemysłowy* 3(25), 2006
- [3] *Fiscor S., Carter R.A.*: Conveyor technology rolls ahead to keep pace with industry demands, *Engineering & Mining Journal*, November 2007
- [4] *Hardygóra M., Bajda M., Gładysiewicz L.*: Wpływ parametrów mieszanek gumowych na energochłonność transportu przenośnikowego. *Transport Przemysłowy* 3(29), 2007
- [5] *Gładysiewicz A., Schwandtke R.*: Inteligentne zawieszenie zestawów krążnikowych w przenośnikach taśmowych. *Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze* 1(1), 2008
- [6] *Gładysiewicz L.*: Przenośniki taśmowe. Teoria i obliczenia. Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2003
- [7] *Gładysiewicz L., Kawalec W.*: Możliwości zmniejszenia mocy napędu głównego przenośnika taśmowego, *Transport Przemysłowy*, 1(7)/2002
- [8] *Gładysiewicz L., Kawalec W.*: Wymiarowanie napędu głównego przenośnika taśmowego współpracującego z koparką kołową. *Transport Przemysłowy* o 3(21), 2005
- [9] *Gładysiewicz L. et al.*: Opracowanie modelu technologicznego-wartościowego dla transportu przenośnikowego węgla na wydłużonych trasach od 20–40 km, Etap 4.1.2–3. projektu Foresight „Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywania i przetwórstwa węgla brunatnego”, Wrocław, 2008 (raport niepublikowany)

- [10] *Kawalec W.*: Badania modelowe wpływu losowego zbiegania taśmy na opory przenośnika taśmowego. Praca doktorska, Wydział Górniczy Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1994 (praca niepublikowana)
- [11] *Kawalec W.*: Przenośniki taśmowe dalekiego zasięgu. *Transport Przemysłowy*, 1(11)/2003
- [12] *Kawalec W.*: Przenośniki taśmowe dalekiego zasięgu do transportu węgla brunatnego. *Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze*, 1(3), 2009
- [13] *Kawalec W., Kulinowski P.*: Obliczenia przenośników taśmowych, *Transport Przemysłowy*, 1(27), 2007
- [14] *Król R.*: Wpływ czynników konstrukcyjnych i eksploatacyjnych na opory obracania kół zębnych stosowanych w górnictwie. Praca doktorska, Wydział Górniczy Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2003 (niepublikowana).
- [15] *Lawrie E., Rasul M.G., Gilroy T.*: Coal Land Transport Economics of Options in Eastern Australia, *Bulk Solids Handling*, vol. 27, 8/2007