

Ryszard Fajer, Eugeniusz Idziak*, Zbigniew Konieczka*,
Adam Mrówka*, Leszek Orzechowski*, Tomasz Szczepaniak**

OPTIMALIZACJA ROZWIĄZAŃ TECHNICZNYCH PRZENOŚNIKÓW TAŚMOWYCH W PGE GIEK SA ODDZIAŁ KWB BEŁCHATÓW

1. Wprowadzenie

W 2010 roku Kopalnia Bełchatów obchodziła swoje 35-lecie istnienia. Tyle też lat nieprzerwanie trwa zbieranie doświadczeń z eksploatacji przenośników taśmowych, będących jednym z podstawowych elementów układów KTZ.

Funkcja przenośnika jest pozornie prosta i prozaiczna — ma on przemieścić wykopany przez koparkę nadkład lub węgiel do określonego miejsca — na zwałowisko lub do elektrowni. Jego budowa i działanie wydaje się też nieskomplikowane. Jednak w ciągu tego długiego okresu, kolejne pokolenia techników, inżynierów jak również projektantów i naukowców borykało się (i wciąż to robi) z wieloma nierozwiązanymi zagadnieniami przenośnikowymi.

Poziom techniczny przenośników zaprojektowanych i wykonanych w latach 70. i 80. był bardzo wysoki jak na ówczesne czasy. Jednak dziś to zupełnie inne urządzenia niż te sprzed 30 lat. Wyposażone w nowoczesne systemy sterowania, diagnostykę techniczną, łączy światłowodowe i układy centralnego smarowania. Dzięki takiemu wyposażeniu nie wymagają stałej obecności obsługi. Uruchamianie oraz inne czynności związane z ruchem są realizowane zdalnie. Dyspozytor kierujący ruchem otrzymuje z każdego przenośnika ponad 200 różnych sygnałów świadczących o parametrach pracy, wizualizowanych w „systemie wydobywczym”. Operator, kiedyś obecny na każdym przenośniku został zastąpiony techniką.

W dzisiejszych czasach coraz większą wagę przywiązuje się do obniżenia kosztów eksploatacji przenośników, w szczególności ich energooszczędności. Nabiera to szczególnego znaczenia ze względu na rosnące szybko ceny energii elektrycznej i uwarunkowania ekologiczne. Jeśli weźmiemy pod uwagę, że średnio w Kopalni „Bełchatów” transport urobku przenośnikami o łącznej długości przekraczającej 120 km pochłania około 50% energii elektrycznej to widać, jaką rangę ekonomiczną (i ekologiczną) ma omawiany aspekt. Gra toczy się o dziesiątki milionów złotych i sporą ilość CO₂. Te argumenty oraz dążenie do zwięk-

* Oddział KWB Bełchatów, PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna SA, Rogowiec

szenia niezawodności przenośników i zmniejszenia pracochłonności ich obsługi były podstawą powołania w Kopalni „Bełchatów” interdyscyplinarnego Zespołu Projektowego z zadaniem: „Optymalizacji rozwiązań technicznych przenośników taśmowych w PGE GIEK SA Oddział KWB Bełchatów”.

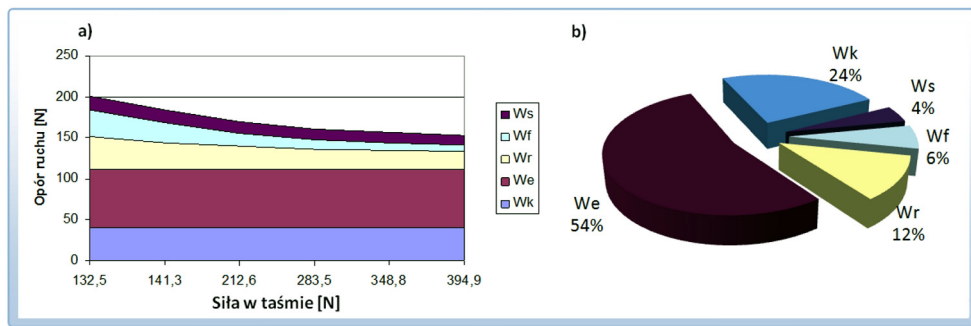
Podstawowe bloki tematyczne rozpatrywane w ramach projektu to:

- optymalizacja konstrukcji zestawów krążnikowych i ich zawiesznień,
- optymalizacja doboru taśmy,
- optymalizacja konstrukcji przesypów,
- określenie skutecznych rozwiązań w zakresie czyszczenia taśmy i uszczelnień,
- optymalizacja napędów i sterowań,
- optymalizacja tras przenośnikowych wraz z mechanizmami pomocniczymi.

2. Czynniki decydujące o energochłonności przenośnika

Podchodząc systemowo do zagadnienia oszczędzania energii trzeba przeanalizować szczegółowo podstawowe elementy składowe oporów ruchu. Są to:

- opory obracania krążników;
- opory toczenia taśmy po krążnikach;
- opory przeginalania taśmy;
- opory falowania urobku;
- opory ślizgania taśmy po krążnikach (zbieganie taśmy, wychylanie się zestawów);
- opory w miejscach załadunku;
- opory na urządzeniach czyszczących.



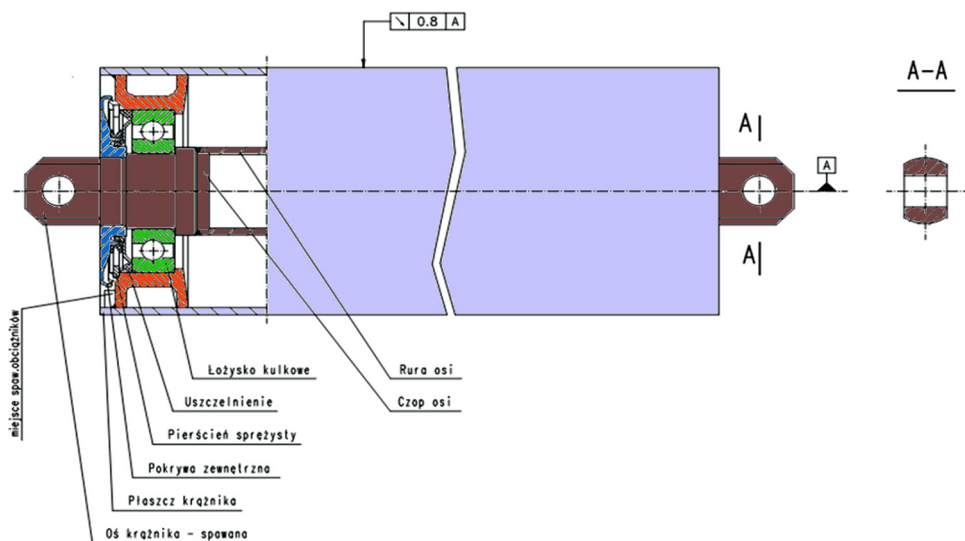
Rys. 1. Udział składowych oporów głównych wzdłuż ciągu górnego przenośnika [2]:

- a) opór w zależności od siły w taśmie, b) struktura procentowa oporów. Długość trasy $L = 1205$ m, wysokość podnoszenia $H = 12$ m, kąt nachylenia trasy $\delta = 0,6^\circ$, gęstość usypowa urobku $\rho = 1\,600$ kg/m³, średnia wydajność $Q = 10\,550$ Mg/h, temperatura otoczenia $TC = 20^\circ\text{C}$. Przenośnik ze standardową taśmą i standardowymi krążnikami. Oznaczenia: W_k — opór obracania krążników; W_e — opór toczenia taśmy po krążnikach; W_r — opór przeginalania taśmy między zestawami krążnikowymi; W_f — opór falowania urobku; W_s — opór tarcia taśmy o krążniki

2.1. Opory obracania krążników (krążniki)

Ze względu na ogromną ilość krążników stosowanych w naszej kopalni (ok. 300 tys. szt.), każdy szczegół konstrukcyjny krążnika jest niezwykle istotny. Od wielu lat prowadzimy badania naukowe i próby eksploatacyjne wielu nowych rozwiązań, które mają doprowadzić do osiągnięcia jednych z niżej wymienionych celów:

- zmniejszenie oporów obracania krążnika,
- zmniejszenie emisji hałasu,
- zwiększenie niezawodności i trwałości.



Rys. 2. Konstrukcja krążnika standardowo stosowanego w PGE GIEK SA O/KWB Bełchatów

2.2. Opory toczenia taśmy po krążnikach

Ten rodzaj oporów jest największym beneficjentem zużycia energii w przenośniku taśmowym. Taśma jest równocześnie najdroższym komponentem przenośnika. Dla długich przenośników udział oporu W_e może dochodzić do 60% wszystkich oporów ruchu. Opór ten zależy od właściwości taśmy decydujących o głębokości na jaką odkształca się jej strona bieżnej przy kontakcie z krążnikiem. Ilość taśm przenośnikowych w Kopalni Bełchatów wynosząca ponad 270 km świadczy o wadze problemu.

W projekcie postawiono za jeden z głównych celów zmniejszenie energochłonności w transporcie przenośnikowym poprzez wprowadzenie do eksploatacji taśm energooszczędnych.

TABELA 1

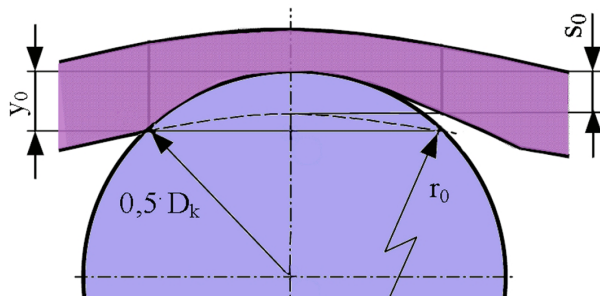
Zestawienie ewolucji konstrukcji krążników na przestrzeni lat 2000–2010

Podstawowe cechy konstrukcyjne modyfikacji		Rok modyfikacji	Średnie opory toczenia dynamicznego, N
Zmiana pasowania średnic, zmiana ilości smaru w łożysku		2001	14,83
Zmiana smaru Liten EP2 na smar specjalny		2002	10,76
Zastosowanie zmodyfikowanego łożyska 6312		2003	6,64
Zmiana ilości smaru wypełniająca łożysko		2004	6,50
Płaszcz krążnika z poliuretanu, uszczelnienia magnetyczne		2008	5
Pocieniony płaszcz krążnika, zastosowanie nowego łożyska, uszczelnienia labiryntowe		2010	2

TABELA 2

Parametry techniczne krążników produkowanych w PGE GIEK SA O/KWB Bełchatów

Wyszczególnienie danych		Krażnik z płaszczem stalowym i łożyskiem 6312	Krażnik poliuretanowy z uszczelnieniem magnetycznym	Krażnik z płaszczem stalowym i łożyskiem 6310	Uwagi
Średnie opory obracania	temperatura +20 °C	6,5 N	4,6 N	2 N	zmniejszenie oporów obracania o 69,2%
	temperatura –25 °C	11,3 N	10,8 N	4,3 N	zmniejszenie oporów obracania o 61,9%
Masa		42,0 kg	31,5 kg	32,0 kg	zmniejszenie ciężaru o 23,8%
Klasa wyważenia		G 40	G 40	G 40	
Okres trwałości		4,5 lat	6 lat	6 lat	zwiększenie trwałości o 33,3%
Emitowany poziom hałasu przez przenośnik		78,6 dB	69,9 dB	dane możliwe po badaniach eksploatacyjnych	zmniejszenie poziomu hałasu o 11%



Rys. 3. Opory toczenia taśmy po krążniku.

Oznaczenia: r_0 — promień zgięcia taśmy, $0,5D_k$ — promień krążnika, s_0 — głębokość strefy wgniotu, y_0 — maksymalna deformacja taśmy [2]

Według niektórych źródeł [1] zainstalowanie taśmy z linkami stalowymi z okładką bieżną wykonaną z mieszanki gumowej, która generuje mniejsze opory toczenia, w miejsce dotychczas stosowanej okładki wykonanej z mieszanki standardowej pozwala zmniejszyć pobór mocy przez napęd główny przenośnika nawet do kilkunastu procent. W celu zweryfikowania tych założeń prowadzone są aktualnie badania taśm reklamowanych, jako energooszczędne uznanych producentów światowych. Dzięki tym badaniom zweryfikowany zostanie stopień energooszczędności rzeczywistej w odniesieniu do deklarowanej. Wypracowane zostaną także zmiany w technologii regeneracji taśm, pozwalające uzyskać efekt energooszczędności w stosowaniu taśm regenerowanych, bowiem udział tej grupy taśm w eksploatacji wynosi ok. 40–50%; Ponadto prace badawcze skupiają się na określeniu i zdefiniowaniu jednoznacznych i obiektywnych technicznych metod i wymagań, w celu weryfikacji taśm energooszczędnych.

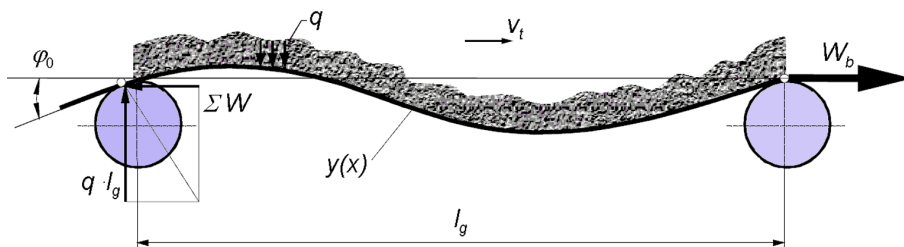
Jednocześnie mając na względzie inne aspekty efektywności transportu taśmowego, jedno z zadań tej części projektu przewiduje dokonanie analiz tendencji światowych i wybór do ewentualnych zastosowań w Kopalni skutecznych rozwiązań w zakresie wykrywania rozcięć taśm oraz uszkodzeń linek nośnych taśm przenośnikowych, także z wykorzystaniem technik wizyjnych.

Powyższe zadania realizowane są w ramach ścisłej współpracy z zespołami naukowymi Politechniki Wrocławskiej. Aktualnie jesteśmy w fazie zaawansowanych badań porównawczych różnych rodzajów taśm. Dotychczasowe wyniki badań są obiecujące, niemniej pokazują złożoność zagadnienia. Efekt energooszczędności jest zależny od wielu czynników, między innymi od temperatury otoczenia i wydajności przenośnika. Badania są prowadzone w skali mikro (na specjalnym opomiarowanym członie przenośnika) i w skali makro (pomiar zużycia energii przez cały przenośnik) według metodologii opracowanej przez Politechnikę Wrocławską.

2.3. Opory przeginania taśmy i opory falowania urobku

Opory te przy zadanej wydajności, sile napięcia taśmy i jej określonych właściwościach zależne są od rozstawu krążników. W praktyce eksploatacyjnej, szukając optymalnego

rozstawu należy uwzględnić koszty inwestycyjne związane z zainstalowaniem krążników, koszty eksploatacyjne wynikające z trwałości zestawów oraz koszty związane z energią niezbędną do pokonania oporów ruchu. Praca badawcza [4] zlecona Politechnice Wrocławskiej pozwoliła określić optymalny rozstaw krążników górnych dla warunków Kopalni Bełchatów.. Wnioski wynikające z pracy wskazują że dla okresów eksploatacji 3–5 lat optymalny jest rozstaw z przedziału 1,2–1,5 m, natomiast dla dłuższych okresów eksploatacji optymalny rozstaw zbliża się do wartości stosowanej w Kopalni „Bełchatów” — 1,2 m. Rozstaw ten może być większy dla przenośników mniej obciążonych. Przykładowo dla wydajności rzędu 6000 t/h optymalny rozstaw mieści się w zakresie 1,4–1,8 m. Stanowi to wskazówkę do projektowania przenośników węglowych. Praca wskazała również na ścisłą zależność między oporami obracania krążnika a jego obciążeniem promieniowym.

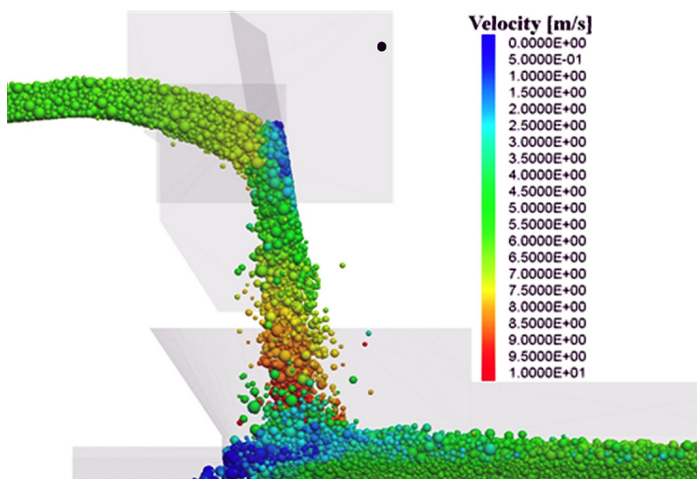


Rys. 4. Opory przeginania taśmy i falowania urobku.

Oznaczenia: W — sumaryczny opór ruchu, N; W_b — opór przeginania taśmy, N;
 φ_0 — kąt ugięcia taśmy, V_t — prędkość taśmy [m/s], l_g — odległość podpór, m;
 q — obciążenie liniowe taśmy, N/m; $y(x)$ — linia ugięcia taśmy [2]

2.4. Opory w miejscu załadunku

Obniżenie oporów ruchu w miejscu przesypywania urobku oraz obniżenie sił oddziaływania spadającego materiału na taśmę i krążniki to następny temat, którym zajmuje się zespół projektowy. Realizując zlecenie Kopalni, Politechnika Wrocławska wykorzystwała do analizy węzłów przesypowych nowoczesną metodę elementów dyskretnych (DEM) pozwalającą określić parametry przydatne przy analizach optymalizacyjnych (rozkład prędkości cząstek materiału, energia jednostkowa strugi urobku, siły oddziaływania urobku na taśmę oraz siły tarcia o nieruchome elementy urządzenia przesypowego). Wyniki pracy mogą zaoferować zmiany konstrukcyjne elementów przesypu mającymi wpływ na trwałość taśmy, krążników oraz na opory ruchu powstające wskutek utraty przez strugę urobku energii kinetycznej na odbojnicy. Z pierwszych analiz wynika, że utrata energii kinetycznej w przesypie może być równoważna około 5% mocy przenośnika. Można wnioskować, że optymalizacja przesypu może przyczynić się do zmniejszenia zapotrzebowania mocy przez przenośnik.



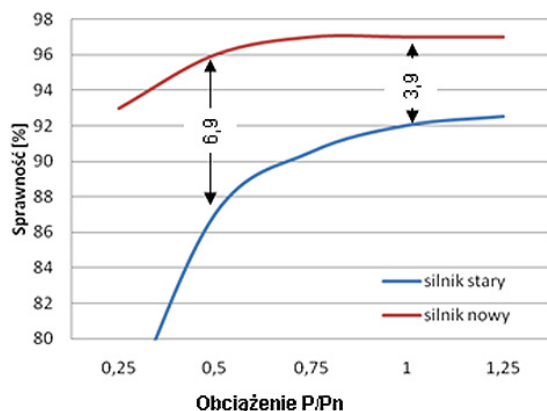
Rys. 5. Wizualizacja przesypu przenośnika B2250 metodą DEM [3]

3. Silniki napędowe

W przodujących przedsiębiorstwach przeciętny okres eksploatacji silników średniego napięcia o mocy powyżej 250 kW wynosi nie więcej niż 20 lat. W tym okresie silnik może być jeden lub dwa razy przewijany. Eksploatacja silników starszych niż 20-letnie lub remontowanych więcej niż dwa razy, uważana jest za technicznie i ekonomicznie nieracjonalną. Spodziewany okres dalszej bezawaryjnej pracy dwudziestoletniego silnika jest już bowiem kilkakrotnie krótszy niż silnika nowego. Koszt awarii to nie tylko koszt remontu silnika, ale i koszt strat i zakłóceń systemu produkcyjnego, w którym dany silnik był eksploatowany. Współczesne silniki mają szereg parametrów wyraźnie lepszych od swych odpowiedników sprzed 20–30 lat. W silnikach nowej generacji przebieg sprawności w funkcji obciążenia $\eta = f(P)$ jest przebiegiem płaskim, maksimum sprawności występuje dla obciążenia wynoszącego około 75% obciążenia znamionowego. W silnikach starych współczynnik sprawności szybko maleje przy zmniejszaniu obciążenia.

Wymiana starych silników na nowe poza korzyściami energetycznymi daje istotne efekty eksploatacyjne:

- 1) osiągnięcie wysokiej niezawodności ruchowej oraz znaczne zwiększenie trwałości silnika;
- 2) znaczące zmniejszenie emitowanego poziomu hałasu, (ze 105 dB przy starych konstrukcjach do 85dB);
- 3) zmniejszenie poziomu drgań;
- 4) zwiększenie bezpieczeństwa obsługi;
- 5) poprawa bieżącej kontroli i diagnostyki silników (czujniki temperatury i drgań w nowych silnikach).



Rys. 6. Porównanie sprawności silników energooszczędnych z tradycyjnymi w zależności od obciążenia według [5]

Z przeprowadzonych wyliczeń wynika, że przy obecnych cenach energii elektrycznej, wymiana niskosprawnych silników średniego napięcia eksploatowanych w ciągu roku przez 4000 i więcej godzin, na współczesne silniki energooszczędne jest inwestycją o wysokim stopniu rentowności. Okres zwrotu poniesionych nakładów wynosi około 5 lat. Po przeprowadzeniu analiz technicznych i ekonomicznych w Kopalni przyjęto do realizacji program systematycznej wymiany silników starej generacji na nowe energooszczędne.

4. Inne istotne komponenty przenośnika

W ramach pracy zespołu projektowego analizowane są również pozornie drugorzędne elementy wyposażenia przenośnika takie jak: trasa, urządzenia czyszczące, urządzenia sterujące bieg taśmy, kotwienia stacji zwrotnych czy wreszcie urządzenia napinające. Celem tych analiz jest przegląd stosowanych rozwiązań, testy eksploatacyjne i rekomendacja do stosowania najlepszych w realiach naszej Kopalni. Do tej pory przetestowano wiele typów urządzeń czyszczących, wytypowano również do prób rozwiązania eliminujące poślizg taśmy na kółkach oraz poprawiające precyzję ustawienia członów przenośnikowych. Analizy i próby trwają nadal.

5. Podsumowanie

- 1) Projektowe podejście do problemów dotyczących przenośników taśmowych daje korzystne efekty interdyscyplinarne i merytoryczne w przedsiębiorstwie.
- 2) Warunkiem powodzenia działań optymalizacyjno-projektowych jest bliska współpraca z uczelniami technicznymi (do tej pory w ramach projektu wykonano kilkanaście eksperymentów, opracowań i badań naukowych).

- 3) Podstawowym spodziewanym efektem wypracowanych przez Zespół Projektowy rozwiązań będzie zmniejszenie zapotrzebowania mocy przenośnika o około 10%. Ponadto spodziewane są dodatkowe korzyści:
- tańsza i mniej pracochłonna eksploatacja przenośników,
 - zwiększenie niezawodności,
 - zmniejszenie emisji hałasu przez przenośniki.
- 4) Założenia techniczne wypracowane w trakcie prac Zespołu Projektowego będą podstawą do projektowania przenośników nowej Odkrywki „ZŁOCZEW”.

LITERATURA

- [1] *Bajda M., Hardygóra M., Gładysiewicz L.*: Wpływ parametrów mieszanek gumowych na energochłonność transport przenośnikowego. *Transport Przemysłowy*, nr 3, 2007
- [2] *Gładysiewicz L.*: Przenośniki taśmowe teoria i obliczenia. Wrocław 2003
- [3] *Gładysiewicz L., Kulinowski P., Czuba W., Katterfeld A.*: Optymalizacja przesypów przenośnikowych. Instytut Górnictwa Politechniki Wrocławskiej (na zlecenie KWB Bełchatów), 2010
- [4] *Gładysiewicz L., Kawalec W., Wajda A., Bukowski J., Dworczyńska M.*: Badanie wpływu zmiany rozstawu zestawów kółnikowych na obciążenie taśmy i oporów ruchu przenośnika-analiza teoretyczna” Instytut Górnictwa Politechniki Wrocławskiej (na zlecenie KWB Bełchatów), 2010
- [5] *Zieliński M., Piszczek J.M., Bernatt M.*: Remontować czy wymieniać silniki elektryczne dużej mocy. Fundacja na rzecz efektywnego wykorzystania energii. Wydanie I, Katowice 2006