

Prof. dr hab. inż. Lech Gładysiewicz

Dr inż. Witold Kawalec

Dr hab. inż. Robert Król

Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

Politechnika Wrocławska

Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

e-mail: lech.gladysiewicz, witold.kawalec, robert.krol@pwr.edu.pl

Dobór rozstawu krążników górnych przenośnika taśmowegoz uwzględnieniem losowo zmiennej strugi urobku

Słowa kluczowe: *przenośnik taśmowy, rozstaw krążników, obciążenia robocze, badania, zużycie energii*

Abstrakt: Przedstawiono studium optymalizacji konstrukcyjnej – właściwego doboru rozstawu krążników górnych - górniczych przenośników taśmowych, pod kątem zmniejszenia zużycia jednostkowej energii transportu z uwzględnieniem zróżnicowanych warunków eksploatacyjnych. Analizowano przenośniki nadkładowe dużej wydajności z kopalni odkrywkowej węgla brunatnego i podziemne z kopalni rud miedzi. Obliczenia wykonano w środowisku specjalistycznego oprogramowania inżynierskiego wykorzystując wyznaczone laboratoryjnie charakterystyki oporu obracania krążników w funkcji obciążenia oraz zidentyfikowane rozkłady strugi urobku w odstawie głównej i oddziałowej. Stwierdzono celowość zróżnicowania rozstawu zestawów krążników górnych w zależności od rzeczywistego obciążenia strugą urobku – większego dla przenośników odstawy głównej (zbiorczych) i mniejszego dla przenośników oddziałowych. Przedstawione wyniki obliczeń są przesłankami do analiz ekonomicznych, uwzględniających - oprócz kosztu energii – również koszt zabudowy i wymian krążników.

1. Wprowadzenie

W przenośnikach taśmowych ciągnio górne podpierane jest najczęściej trójkrążnikowymi zestawami rozmieszczonymi w równych odległościach (od 0,8 do 2,5 m) na całej długości trasy transportu. Krążniki są zatem najliczniejszym elementem konstrukcji przenośnika decydującym zarówno o jego niezawodności jak i energochłonności. W kopalniach, gdzie transport taśmowy odgrywa dominującą rolę, uwaga użytkowników i konstruktorów ogniskuje się na głównych elementach decydujących o kosztach transportu: taśmie przenośnikowej i krążnikach. Oszczędności można szukać, podobnie jak w przypadku innych środków transportu, w precyzyjnym doborze parametrów konstrukcyjnych przenośnika do konkretnych potrzeb transportowych.

Znanym sposobem ograniczania zużycia energii i redukcji kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych jest zwiększanie rozstawu zestawów krążników. W niektórych rozwiązaniach przenośników dalekiego zasięgu stosowane są rozstawy krążników górnych przekraczające nawet 3,0 m. Są to jednak specyficzne konstrukcje, eksploatowane ze stabilnym obciążeniem równomierną strugą urobku, zapewniającą przewidywalne obciążenie krążników [9]. W kopalnianych systemach transportowych występuje znacznie większy rozrzut strugi urobku, co długo było wystarczającym powodem do powszechnego stosowania przewymiarowanych konstrukcji przenośników. Jednak połączenie wyników badań krążników przenośników dużej wydajności z Zagłębia Nadreńskiego [1] z danymi eksploatacyjnymi pozwoliło na weryfikację koncepcji zmiany rozstawu krążników górnych [5]. Zebrane doświadczenia posłużyły do przeprowadzenia analiz doboru rozstawu zestawów górnych przenośników stosowanych również w polskim górnictwie [6], uwzględniając przy tym wyznaczone doświadczalnie charakterystyki oporów obracania krążników w funkcji wydajności chwilowej [14] oraz obliczoną przewidywaną trwałość krążników w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych [3, 11, 12, 18]. W analizach dotyczących optymalnego rozstawu krążników górnych niezbędna jest identyfikacja oporów ruchu pojedynczego zestawu krążnikowego [4, 21] oraz znajomość oporów obracania poszczególnych krążników w powiązaniu z rozkładem zmienności strugi transportowanego urobku [2, 10, 13]. Jako kryteria wyboru optymalnego rozstawu krążników w ciągnie

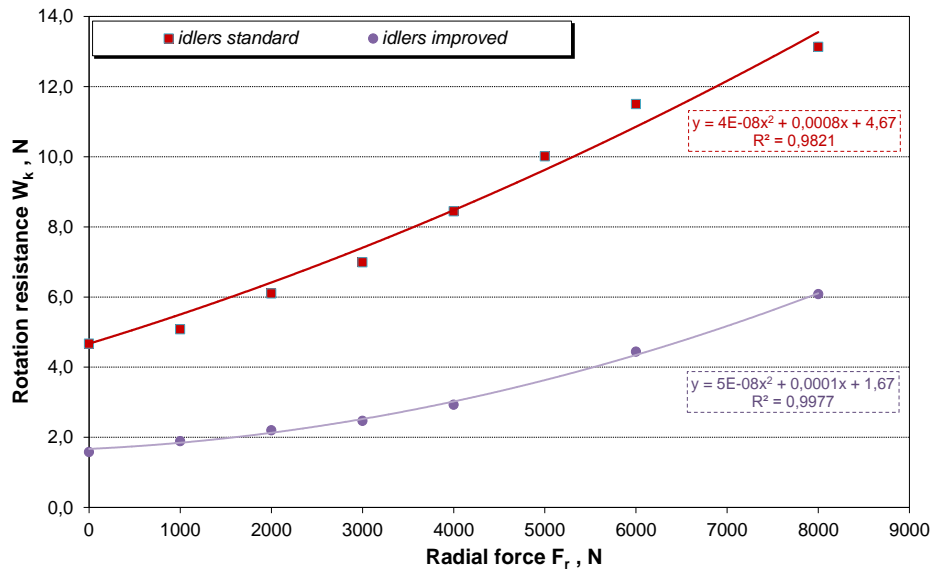
górnym przyjęto jednostkowe zużycie energii czyli energię przeliczoną na jednostkę długości trasy i jednostkę wydajności[5] oraz prognozowaną roczną liczbę wymian zestawów krążnikowych. Drugie kryterium to parametr eksploatacyjny definiowany jako iloraz całkowitej liczby zainstalowanych zestawów i obliczeniowej trwałości zestawu krążnikowego oszacowanej na podstawie minimalnej trwałości krążnika w zestawie [3].

Podstawowym narzędziem w analizach optymalizacyjnych jest autorski system komputerowy QNK-TT [16], w którym zaimplementowano zaawansowane algorytmy wyznaczające składowe oporów głównych przenośnika z uwzględnieniem parametrów taśmy i transportowanego materiału oraz konstrukcyjnych i eksploatacyjnych parametrów przenośnika [4]. Koncepcja dostosowania rozstawu górnych zestawów krążnikowych do rzeczywistych obciążeń eksploatacyjnych wymaga wielowariantowych obliczeń wykorzystujących znaczne ilości danych. Staje się to możliwe dzięki implementacji systemów informatycznych, gromadzących kompleksowe dane (techniczne, eksploatacyjne, diagnostyczne) o systemie transportowym kopalni [7, 8, 19, 22]. Zautomatyzowane przetwarzanie tych danych prowadzi do uzyskania wiarygodnej oceny stanu elementów przenośnika [17, 20] a dodatkowo wsparte wynikami obliczeń symulacyjnych [16], pozwalają na obniżenie przyjmowanego dotychczas zapasu konstrukcyjnego bez szkody dla bezpieczeństwa i niezawodności użytkowania przenośników taśmowych.

W niniejszym artykule dokonano podsumowania dotychczasowych prób doboru rozstawu krążników górnych w kopalnianych przenośnikach taśmowych typowych dla największych taśmowych systemów transportowych – odstawy nadkładu w odkrywkowej kopalni węgla brunatnego oraz poziomego transportu rudy miedzi w podziemnej kopalni KGHM S.A.. Dla obu systemów wybrano typowe przenośniki, wykorzystywane alternatywnie w zróżnicowanych zadaniach transportowych, reprezentujących pracę z pełnym obciążeniem (odstawa główna – przenoszenie zbiorczej strugi urobku z kilku oddziałów eksploatacyjnych) oraz z częściowym obciążeniem (odstawa oddziałowa – transport urobku z jednego oddziału wydobywczego z charakterystycznymi, licznymi okresami pracy bez obciążenia). Analizowano przenośniki z zainstalowanymi standardowymi zestawami krążnikowymi (o normowych wielkościach oporów obracania) oraz z krążnikami zmodernizowanymi (o zredukowanych oporach obracania). Dla tych konfiguracji konstrukcji trasy i lokalizacji przenośnika w systemie transportowym sprawdzono warianty rozstawu zestawów krążników górnych, których stosowanie nie wymagałoby zmian konstrukcji.

2. Badania symulacyjne dla przenośników stosowanych w kopalni odkrywkowej

Przedstawione rozważania dotyczące optymalnego podparcia ciężna górnego dedykowano przenośnikom największym, stosowanym do transportu nadkładu, gdzie szerokość zainstalowanej taśmy wynosi 2,25 m, a w ciągnie górnym stosowane są krążniki o średnicy 194 mm i długości płaszcza 800 mm. Rozpatrywano krążniki dwóch typów – standardowe oraz zmodernizowane, dla których laboratoryjnie wyznaczono charakterystyki oporu obracania w postaci funkcji kwadratowej obciążenia promieniowego [11, 14] (rys.1). Zostały one wykorzystane jako metody wirtualne do obliczania oporu ruchu w cyklu obliczeń symulacyjnych.

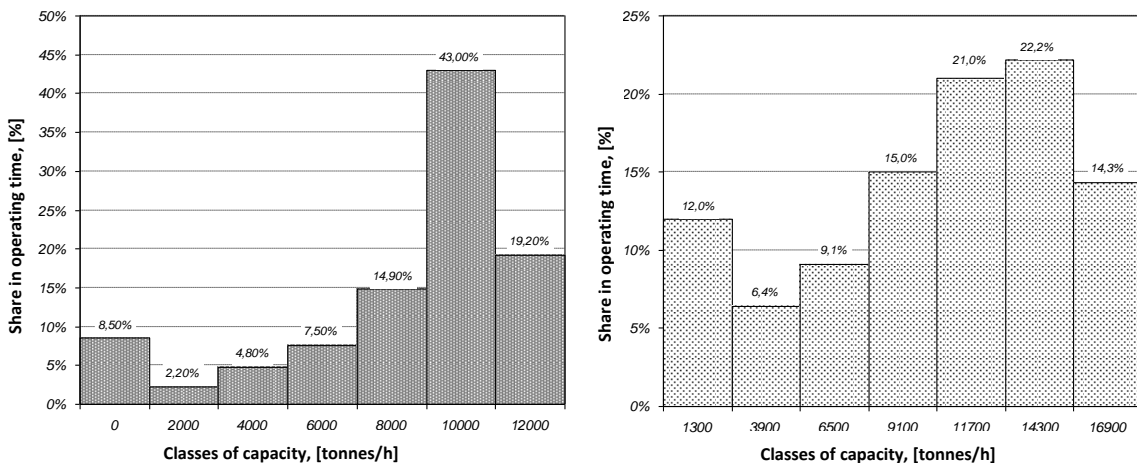


Rys.1. Średni opór obracania krążników $\varnothing 194 \times 800 \text{mm}$ W_k stosowanych w przenośnikach nadkładowych, w funkcji siły promieniowej F_r

W analizach optymalizacyjnych niezbędna jest identyfikacja wydajności eksploatacyjnej w danym systemie transportowym[10]. Dla wytypowanych lokalizacji przenośnika w systemie transportowym kopalni odkrywkowej:

- odstawa główna (zbiorcza) – przenośnika transportujący nadkład z kilku poziomów wydobywczych,
- odstawa oddziałowa – przenośnik odbierający urobek z jednego poziomu (z pojedynczej koparki)

utworzone zostały histogramy wydajności chwilowych strugi transportowanego nadkładu, reprezentujące rzeczywisty rozkład obciążeń urobkiem zestawu krążników w ciągu górnym przenośnika (rys.2).



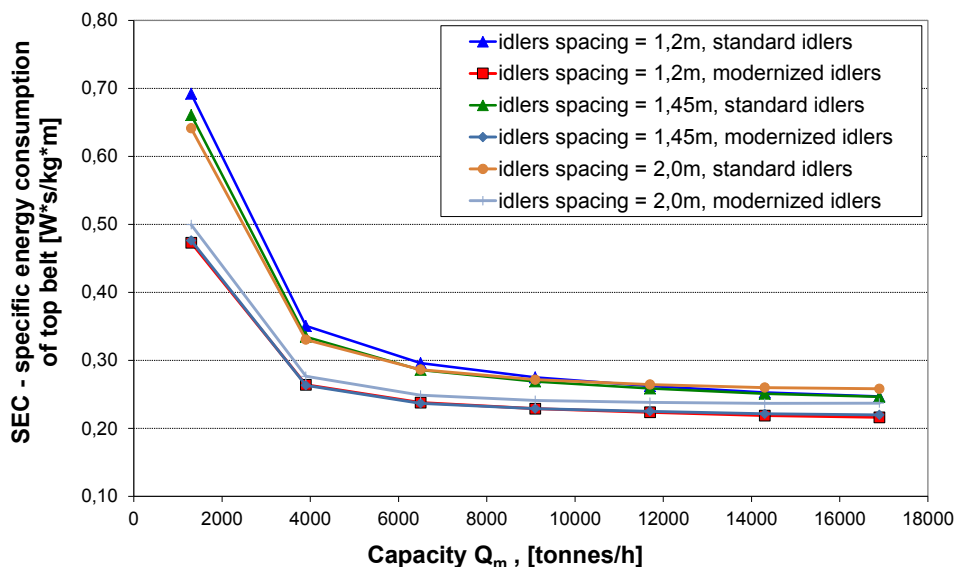
Rys.2. Histogramy zarejestrowanych wydajności chwilowych strugi nadkładu:
a) pojedyncza koparka, b) przenośnik zbiorczy (odstawy głównej)

Oprócz losowego charakteru strugi urobku w analizach uwzględniono sezonowy wpływ temperatury otoczenia na opory ruchu przenośnika. Obliczenia wykonano zatem dla trzech wyróżnionych poziomów temperatur sezonowych, uwzględniając średnie miesięczne temperatury dobowe na Niżu Polskim i przedstawiając wyniki w postaci średniej ważonej dla obliczeniowej temperatury pracy przenośnika (tab.1).

Tab.1. Główne parametry obliczeniowe przenośnika taśmowego dużej wydajności

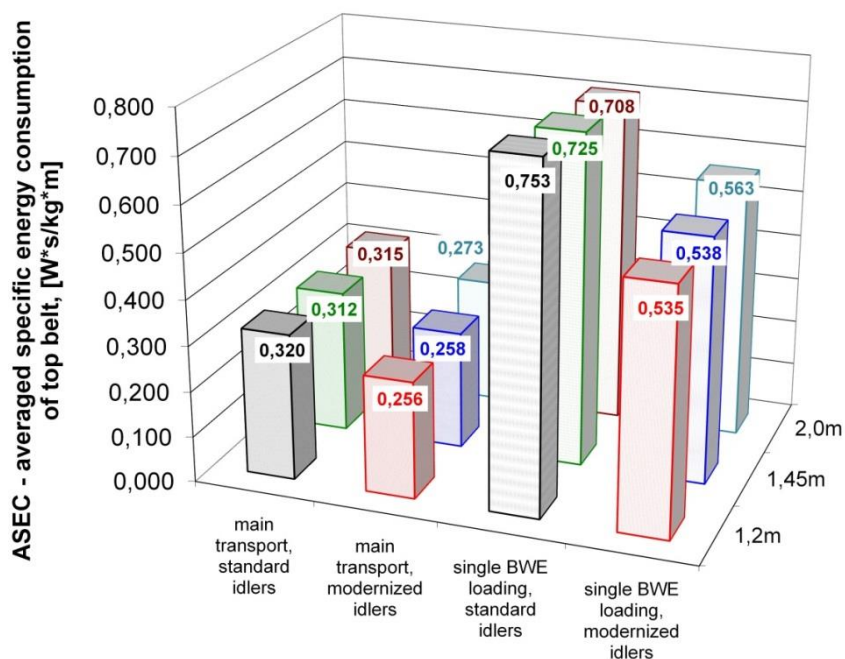
Parametr	Przenośnik odkrywkowy
Transportowany urobek, gęstość, kg/m ³	Nadkład, 1700
Obliczeniowa temperatura pracy, °C	0 (45%), 11 (25%), 19 (30%)
Długość, m; wznios	1205; poziomy
Szerokość taśmy, mm	2250
Taśma; okładki, mm	St3150; 14+7
Prędkość taśmy, m/s	5,98
Rozstaw zestawów krążników górnych, m	Warianty: 1,2; 1,45; 2,0
Opór obracania krążnika górnego, N	według podanych charakterystyk
Wydajność obliczeniowa, t/h	100-18000
Uwaga do obliczeń	Siła napinania ustalona dla maksymalnego obciążenia

Na rysunku 3 przedstawiono obliczony wskaźnik jednostkowego zużycia energii (Specificenergyconsumption - SEC) w cięgnie górnym nadkładowego przenośnika w zależności od chwilowej wartości wydajności, odpowiadającej obciążeniu promieniowemu krążników. W przypadku krążników standardowych, w całym zakresie obciążenia wartość SEC dla rozstawu 1,45m jest nieco niższa niż dla najczęściej stosowanego w polskich kopalniach węgla brunatnego rozstawu 1,2m, zaś dla rozstawu 2,0m niższa w zakresie niewielkich obciążeń (do ok.40% wydajności nominalnej) i nieco wyższa dla większych obciążeń. W przypadku krążników zmodernizowanych, o mniejszych oporach obracania (rys.1), wartości SEC dla rozstawu 1,2m oraz 1,45m niemal się pokrywają, a dla rozstawu 2,0m są nieco wyższe. Mniejsze zróżnicowanie SEC dla krążników zmodernizowanych jest spowodowane mniejszym udziałem oporu obracania w łącznych oporach ruchu.



Rys.3. Jednostkowe zużycie energii w cięgnie górnym [W*s/kg*m] w zależności od wydajności chwilowej przenośnika dużej wydajności (dane przenośnika w tab.1)

Z punktu widzenia eksploatacji konkretnego systemu transportowego istotniejsze są uśrednione wartości jednostkowego zużycia energii, odpowiadające typowemu dla danego obiektu obciążeniu strugą urobku, opisanym rozkładem wydajności (rys.2). Wyniki średniego, jednostkowego zużycia energii w cięgnie górnym, różnicujące alternatywne rozstawy zestawów górnych dla przenośnika odstawy głównej (zbiorczego) oraz dla przenośnika odstawy oddziałowej (poziomowego – odbierającego urobek z jednej koparki wielonaczyniowej) zebrano na rysunku 4.



Rys.4. Jednostkowe, uśrednione zużycie energii w ciągnie górnym [$W \cdot s/kg \cdot m$] przenośnika nadkładowego odstawy głównej i oddziałowej w zależności od rozstawu zestawów krążników górnych

Przenośnik oddziałowy (odbierający urobek z pojedynczej koparki) pracuje ze znacznie mniejszym średnim obciążeniem a ponadto ma znaczący udział pracy jałowej (rys.2), toteż nie dziwią wyraźnie większe wartości jednostkowego zużycia energii w ciągnie górnym niż w przypadku przenośnika zbiorczego. Można wnioskować, że zwiększenie rozstawu standardowych krążników górnych z 1,2m do 1,45 powinno przynieść oszczędności w zużyciu energii przenośników oddziałowych i pozostanie praktycznie bez wpływu na zużycie energii przenośników zbiorczych. Rozstaw 2,0m oznacza zwiększenie jednostkowego zużycia energii dla przenośnika zbiorczego zaś w wypadku przenośnika odbierającego urobek z pojedynczej koparki wynik jest zależny od typu krążników. Rozpatrywane zwiększenie rozstawu krążników górnych oznacza redukcję liczby zainstalowanych krążników. Równocześnie zwiększenie obciążenia promieniowego (zróżnicowane dla przenośników zbiorczych i oddziałowych) wpływa jednak na wzrost szacowanej liczby zestawów corocznie wymienianych (tab.2).

Tab. 2. Oczekiwana liczba wymian krążników w kopalni odkrywkowej (na 1 km trasy)

Rozstaw zestawów krążnikowych, m	Odstawa główna	Odstawa oddziałowa
1,2	104	52
1,45	172	86
2,0	250	167

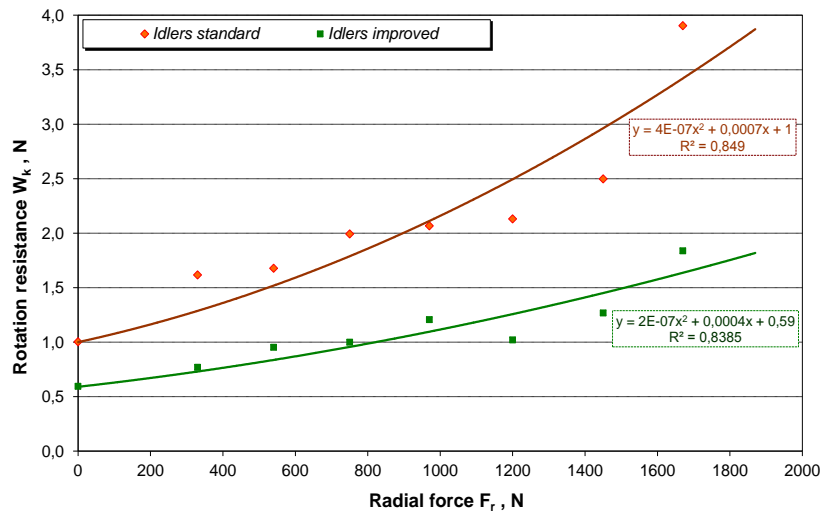
Nie przedstawiono analizy ekonomicznej wyników obliczeń jednostkowego zużycia energii i liczby wymian krążników, gdyż jest ona uzależniona od uwarunkowań kosztów eksploatacji danej kopalni i może być wykonana na ich podstawie.

3. Badania symulacyjne dla przenośników stosowanych w kopalni podziemnej

Konieczność obniżania kosztów eksploatacji, rosnące długości dróg podziemnej odstawy urobku w kopalniach rud miedzi oraz coraz częstsze stosowanie długich przenośników taśmowych do głównej odstawy węgla w kopalniach węgla kamiennego w połączeniu z obserwowanym wzrostem kultury technicznej obsługi przenośników [8, 22] wskazują na celowość zbadania możliwości optymalizacji rozstawu zestawów górnych również w tych przenośnikach. Należy pamiętać, że przenośniki w kopalniach podziemnych cechują zwykle większe rezerwy konstrukcyjne, których

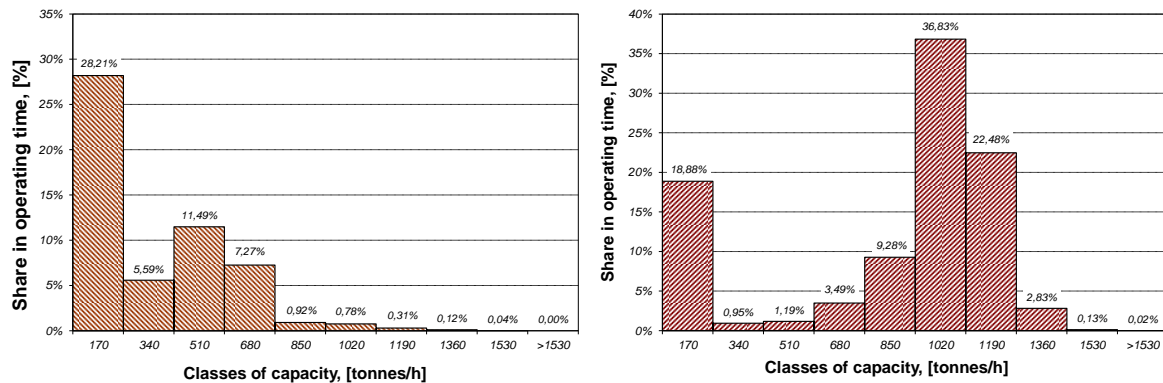
stosowanie ma zapobiegać awariom spowodowanym obiektywnymi trudnościami eksploatacyjnymi w ciasnych wyrobiskach.

Opublikowane wyniki szczegółowych badań oporów obracania krążników górnych przenośników dedykowanych do zastosowania w kopalniach podziemnych [14, 15] w połączeniu z analizami zmiennych strumieni urobku w tych kopalniach (rys.6) [13], umożliwiają wykonanie studium doboru rozstawu zestawów krążników górnych dla podziemnej odstawy rudy miedzi. Wyniki badań potwierdziły zależność wartości oporu obracania krążnika od siły promieniowej. W efekcie prowadzonych badań laboratoryjnych wyznaczono indywidualne charakterystyki krążników nośnych w postaci funkcji kwadratowej (rys.5), zastosowanenastępnie w module obliczeń oporów ruchu przenośnika metodą oporów jednostkowych w programie QNK-TT.



Rys. 5. Średni opór obracania krążników $\varnothing 133 \times 370 \text{ mm}$ W_k w funkcji siły promieniowej F_r uzyskany dla standardowych i zmodernizowanych krążników.

Jak wykazały długotrwałe pomiary wydajności chwilowej, wykonane w podziemnej kopalni rud miedzi [13], przenośniki oddziałowe i główne cechują różne charakterystyki strumienia transportowanego urobku (rys.6).



Rys.6. Przykładowe histogram wydajności masowej przenośników eksploatowanych w podziemnej kopalni rud miedzi KGHM PM.S.A.: a) przenośnik odstawy oddziałowej , b) przenośnik odstawy głównej

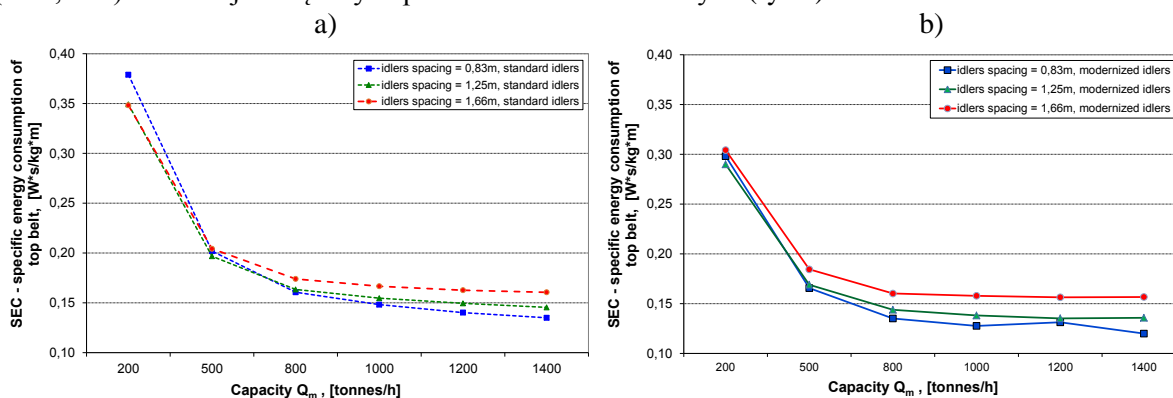
Stosowanie zbiorników oddziałowych umożliwia również zróżnicowanie czasu pracy przenośników oddziałowych i głównych. Szacuje się, że przenośniki w odstawie głównej pracują ok. 6 tys. godzin rocznie, podczas gdy oddziałowe – ok. 4 tys. godzin. Ta różnica ma wpływ na szacowanie trwałości zestawów krążników górnych.

Do analiz przyjęto wariantowo wielkości rozstawu zestawów krążników górnych z przedziału od 0,83 do 1,66 m, których zastosowanie nie wymaga zmian konstrukcyjnych. Pozostałe parametry przenośnika są standardowe (tab.3).

Tab.3. Wybrane parametry analizowanych podziemnych przenośników taśmowych

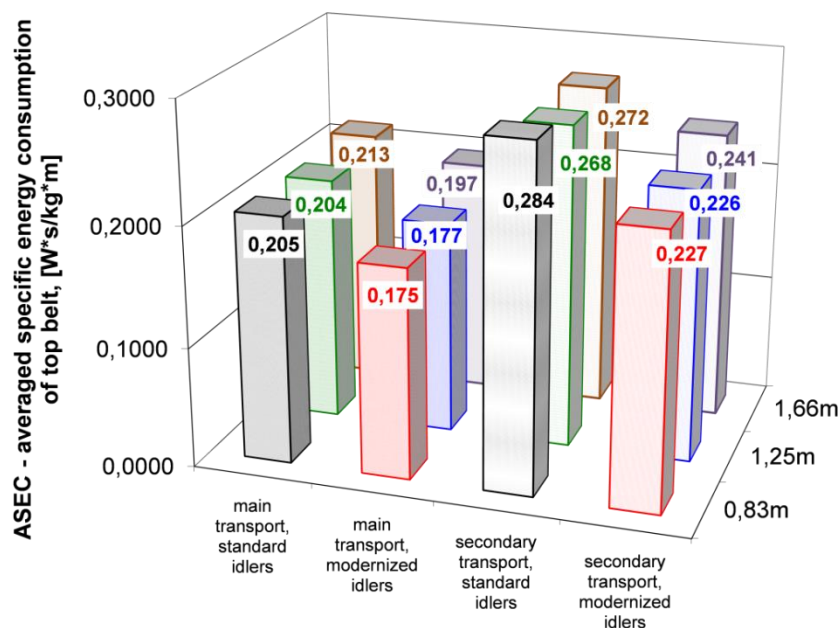
Parametr	Przenośnik podziemny
Transportowany urobek, gęstość, kg/m^3	Ruda miedzi, 1700
Obliczeniowa temperatura pracy, $^{\circ}\text{C}$	25
Długość, m; wznios	1500; poziomy
Szerokość taśmy, mm	1000
Taśma; okładki, mm	Trudnopalna, EP2000/4 6+3;
Prędkość taśmy, m/s	2,8
Rozstaw zestawów krążników górnych, m	Warianty: 0,83; 1,25; 1,66
Opór obracania krążnika górnego, N	według podanych charakterystyk
Wydajność obliczeniowa, t/h	200-1400
Uwaga do obliczeń	Siła napinania ustalona dla maksymalnego obciążenia

Przenośniki podziemne pracują praktycznie w stałej, wysokiej temperaturze, która sprzyja uzyskaniu małych wartości oporu obracania krążników (rys.5). Na poniższych dwóch wykresach (rys.7) przedstawiono obliczony wskaźnik jednostkowego zużycia energii (Specific energy consumption - SEC) w cięgnię górnym podziemnego przenośnika w zależności od chwilowej wartości wydajności, odpowiadającej obciążeniu promieniowemu krążników standardowych (rys.7a) i zmodernizowanych, o zmniejszonej energochłonności (rys.7b). Charakterystyczne jest przecinanie się wykresów jednostkowego zużycia energii. Dla niewielkiego obciążenia strumieniem urobku korzystniejszy jest większy rozstaw krążników górnych zaś dla większego obciążenia – mniejszy. Z tego względu nie sposób udzielić ogólnej odpowiedzi na pytanie, który rozstaw zestawów górnych obniży koszty zużycia energii. Wyznaczenie uśrednionego jednostkowego zużycia energii, zgodnie z rozpoznaniem obciążeniem przenośników głównych i oddziałowych sugeruje raczej zachowanie standardowego rozstawu (0,83m) dla przenośników odstawy głównej i ewentualne jego zwiększenie (do 1,25m) dla mniej obciążonych przenośników oddziałowych (rys.8).



Rys.7. Jednostkowe zużycie energii w cięgnię górnym $[\text{W}\cdot\text{s}/\text{kg}\cdot\text{m}]$ w zależności od wydajności chwilowej przenośnika podziemnego do transportu rudy miedzi (dane przenośnika w tab.3):

a) krążniki standardowe, b) krążniki zmodernizowane



Rys.8. Jednostkowe, uśrednione zużycie energii w cięgnię górnym [Ws/kgm] przenośnika podziemnego odstawy głównej i oddziałowej w zależności od rozstawu zestawów krążników górnych

Podobnie jak w przypadku przenośników pracujących w kopalni odkrywkowej zwiększenie rozstawu krążników powoduje wzrost obciążenia promieniowego (zróżnicowane dla przenośników odstawy głównej i oddziałowej), co wpływa na szacunkowy wzrost liczby zestawów wymienianych corocznie (tab.4). Należy podkreślić, że w kopalni podziemnej przyczynami przedwczesnego zużycia krążników są korozyjne zatarcia łożysk lub wytarcia płaszcza (rys. 9) [10] przez co nie osiągają one zakładanej trwałości wynikającej z obciążeń eksploatacyjnych [3].

Tab.4. Oczekiwana liczba wymian krążników w kopalni podziemnej (na 1 km trasy)

Rozstaw zestawów krążnikowych	Odstawa główna	Odstawa oddziałowa
0.83	21	10
1.25	47	23
1.66	86	40



Rys.9. Przykłady przedwczesnego zużycia krążników [10]

4. Wnioski

Wyniki rozważań dla typowych przenośników, pracujących w odkrywkowej kopalni węgla brunatnego i podziemnej kopalni rud miedzi pokazują, że możliwe jest obniżenie energochłonności transportu taśmowego rzędu 2-3% poprzez odpowiedni dobór rozstawu krążników górnych. Poszukiwanie rozwiązań optymalnych w oparciu o kryteria jednostkowego zużycia energii i prognozowanej rocznej liczby wymian zestawów krążnikowych wymaga oraz oprócz identyfikacji oporów ruchu również uwzględnienia losowej zmienności strugi urobku na przenośniku

Nieliniowe charakterystyki oporu obracania krążników oraz zidentyfikowane, zróżnicowane wielkości strugi urobku transportowane na przenośnikach odstawy głównej i oddziałowej wskazują na konieczność indywidualnego podejścia do doboru rozstawu krążników w ciągu górnym w zależności od lokalizacji przenośnika w systemie transportowym i dostępnych podzespołów – zestawów krążników standardowych lub zmodernizowanych.

Uzyskane wyniki obliczeń symulacyjnych wskazują, że dla przenośnika nadkładowego o szerokości taśmy 2,25m celowe jest – szczególnie dla przenośników odbierających urobek z jednej koparki - zwiększenie standardowego rozstawu z 1,2 m do 1,45 m a nawet do 2,0 m, zarówno dla krążników standardowych oraz zmodernizowanych (o obniżonych oporach obracania).

W podziemnych przenośnikach o szerokości taśmy 1,0 m przeznaczonych do transportu rud miedzi również można wprowadzić zwiększenie standardowego rozstawu z 0,83 m do 1,25 m. W przypadku odstawy głównej przynosi to oszczędność jedynie w postaci zmniejszonej liczby zainstalowanych krążników ale dla słabiej obciążonych przenośników oddziałowych należy dodatkowo oczekiwać zmniejszenia zużycia energii.

Acknowledgements: This paper was financially supported partly by the Polish Ministry of Science and Higher Education as scientific project No S40111

Literatura

1. Bukowski J., Gładysiewicz L., Król R. Tests of belt conveyor resistance to motion. Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability 2011; nr 3: 17-25.
2. Dworczyńska M., Gładysiewicz L., Król R. Model transportowanego urobku dla szacowania trwałości krążników. Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze 2013; 1(19):22-26.
3. Geesmann F.O. Experimentale und Theoretische Untersuchungen der Bewegungswiderstände von Gurtfördenanlagen. Praca doktorska. Universität Hannover 2001; (niepublikowana).
4. Gładysiewicz L., Hardygóra M., Kawalec W. Determining belt resistance. Bulk Handling Today 2009; vol 5: 23-28.
5. Gładysiewicz L., Kawalec W. Carrying idler spacing with regard to the distribution of conveyed stream. Bulk Solids Europe 2010: International Conference on Storing, Handling and Transporting Bulk, Glasgow, Scotland, September 9-10, 2010 / Vogel Business Media, Institution of Mechanical Engineers.
6. Gładysiewicz L., Kawalec W. Dobór rozstawów krążników górnych nowej generacji w przenośnikach nadkładowych dużej wydajności. Transport Przemysłowy Maszyny Robocze 2011; 3(13):7-10.
7. Hardygóra M. et al. Comprehensive studies on the multi-criterial effectiveness of large belt conveyor transportation system. Proceedings of the Twentieth International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, MPES 2011, Almaty, October 12-14, 2011:881-895.
8. Kacprzak M., Kulinowski P., Wędrychowicz D. Computerized information system used for management of mining belt conveyors operation. Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability 2011; 2(50): 81-93.
9. Kawalec W. Przenośniki taśmowe dalekiego zasięgu. Transport Przemysłowy 2003; 1(11):13-20.
10. Król R. Metody badań i doboru elementów przenośnika taśmowego z uwzględnieniem losowo zmiennej strugi urobku. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 2013.
11. Król R. Ocena trwałości krążników dla rzeczywistych obciążeń przenośnika taśmowego. Przegląd Górniczy 2011; nr 11:82-90.
12. Król R., Gładysiewicz L. Kompleksowa ocena jakości krążników poliuretanowych stosowanych w górnictwie odkrywkowym. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Studia i Materiały 2009, nr 36:19-31.

13. Król R., Gładysiewicz L., Wajda A. Analiza rozkładu obciążeń krążników nośnych w kopalniach rud miedzi. *Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze* 2010; 2(8):19-31.
14. Król R, Kisielski W. Urządzenie do badania oporów obracania krążników pod obciążeniem. Zgłoszenie patentowe nr P406829 z dn. 13.01.2014.
15. Król R, Kisielski W. Wpływ krążników na energochłonność przenośnika taśmowego. *Mining Science* 2014; 21(2):61-72.
16. Kulinowski P. Simulation studies as the part of an integrated design process dealing with belt conveyor operation, *Eksploracja Niezawodność - Maintenance and Reliability* 2013; 15 (1):83-88.
17. Lodewijks G. Strategies for Automated Maintenance of Belt Conveyor Systems. *BulkSolids Handling* 2004, 24 (1):16-22.
18. Łagoda T., Sonsino C.M. Comparison of different methods for presenting constant and variable amplitude loading fatigue results. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik* 2004; Vol.35, No.1:13-20.
19. Mazurkiewicz D. Computer- aided maintenance and reliability management systems for conveyor belts. *Eksploracja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2014; 16 (3): 377–382.
20. Pang Y., Lodewijks, G. The application of RFID technology in large-scale dry bulk material transport system monitoring. *Environmental Energy and Structural Monitoring Systems (EESMS)*, IEEE, 2011: 1-5
21. Qing H., Daqian D. Zirui H., Dongmei D. Analytical Model between Power and Idler Spacing of Belt Conveyor. *Second International Conference on Computer Modeling and Simulation* 2010:8-10.
22. Stefaniak P., Zimroz R., Król R., Górniak- Zimroz J., Bartelmus W., Hardygóra M. Some Remarks on Using Condition Monitoring for Spatially Distributed Mechanical System Belt Conveyor Network in Underground Mine – A Case Study. *Condition Monitoring of Machinery in Non-Stationary Operations*. Springer 2012:497-507.