

METODA POMIARU OBCIĄŻEŃ KRAŻNIKÓW W PRZEGUBOWYM ZESTAWIE GÓRNYM PRZENOŚNIKA TAŚMOWEGO

MEASURING METHOD OF LOADING CARRYING IDLERS INSTALLED IN TOP IDLER SET OF BELT CONVEYOR

Lech Gładysiewicz, Robert Król, Waldemar Kisielewski - Instytut Górnictwa
Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wroclawska

Przedstawiono i omówiono metodę pomiaru obciążeń krążników nośnych. Zaprezentowano projekt ramy pomiarowej, która dodatkowo dzięki zastosowaniu specjalnie przygotowanych sworzni pomiarowych daje doskonałe możliwości pomiaru rzeczywistych obciążeń, jakim poddawane są krążniki. Rama pomiarowa została skonstruowana w taki sposób, że jest zachowywana ruchliwość górnego przegubowego zestawu krążnikowego i posiada wiele zalet. Otrzymujemy precyzyjne wartości sił działających na krążniki, obciążenie promieniowe, które daje informacje o ilości transportowanych mas, oraz poosiowe określające siłę tarcia pomiędzy taśmą i krążnikiem. Dzięki zastosowaniu specjalnej ramy pomiarowej możliwe jest określenie obciążenia w całym zakresie wydajności przenośnika taśmowego. Konstrukcja ramy wraz ze sprzętem do akwizycji danych jest na tyle mobilna, że daje możliwość instalacji układu pomiarowego w każdym miejscu trasy dowolnego przenośnika.

Słowa kluczowe: krążnik, przenośnik taśmowy, pomiar obciążeń, rama pomiarowa

The paper presents and discusses a method for measuring load on carrying idlers. The new measuring frame steel construction was designed. Carrying idlers are mounted in a frame with a measuring bolt, that allows measuring real forces acting on carrying idlers. The measuring frame is designed in such a way that it is kept mobility of top idler set. It gets precise information of forces acting on carrying idlers. Radial forces give information about the amount of transported masses. Axial forces determine friction forces between the belt and idlers. Measuring frame gives possibility to measure in a whole scope of mass capacity. Frame steel construction with equipment for data acquisition is so mobile that gives possibility to install the measuring system at any point in the route of any conveyor.

Key words: idler, belt conveyor, measurement of loads, measuring frame

Wstęp

Krażniki są elementami licznie występującymi w przenośnikach taśmowych, służą do podtrzymywania i prowadzenia taśmy. Ich ilość na każdym kilometrze trasy przenośnika sięga kilku tysięcy sztuk. Poddawane są bardzo szerokim zakresem obciążeń, od bardzo małych kiedy przenośnik pracuje bez urobku, po bardzo duże obciążenia kiedy przenośnik jest w pełni załadowany. Krążnikiem najbardziej obciążonym jest krążnik środkowy. Dla dużych przenośników taśmowych pracujących w krajowych kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego zakres zmienności obciążeń krążników środkowych wynosi od około 1 kN – praca przenośnika niezaladowanego (masa własna taśmy) do około 10 kN – przy nominalnej wydajności masowej wynoszącej 25000 t/h. Istotny też jest wpływ innych czynników konstrukcyjnych przenośnika i eksploatacyjnych, które mają wpływ na wartość tych obciążeń. Należy pamiętać, że to właśnie obciążenie jest kluczowym parametrem wejściowym we wszelkich analizach wytrzymałościowych i trwałościowych krążników przenośników taśmowych. Obecnie stosowane wagi rolkowe pozwalają na określenie wydajności masowej przenośnika, lecz nie pozwalają na określenie rzeczywistego zakresu obciążeń krążników. W Instytucie Górnictwa Politechniki Wrocławskiej została opracowana tensometryczna

metoda pomiarowa z wykorzystaniem sworzni pomiarowych zamiast typowych sworzni stosowanych w górnym zestawie przegubowym przenośnika taśmowego. Metoda to oprócz swoich licznych zalet ma ograniczenie do stosowania przy większych wydajnościach masowych przenośnika.

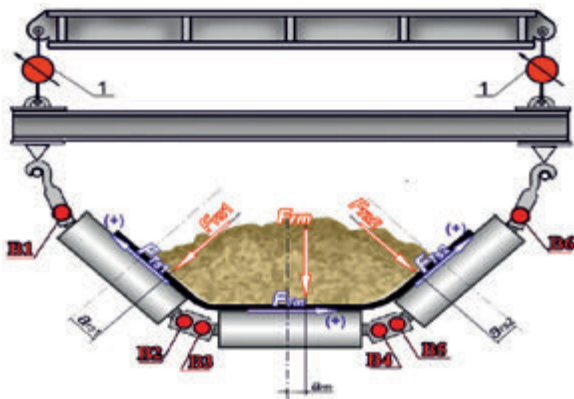
Pomiar obciążeń krążników z zastosowaniem sworzni pomiarowych

Idea metody [1] polega na zastosowaniu specjalnie przygotowanych sworzni pomiarowych (rys. 1) zastosowanych zamiast standardowych sworzni w górnych przegubowym zestawie krążnikowym (rys. 2).

W miejscach ścinania sworzni są wykonane sfrezowania, w tych miejscach są naklejone tensometry. Sworznie zostały wcześniej wyskalowane. Umożliwiają pomiar sił w dwóch płaszczyznach wzajemnie prostopadłych, siły promieniowe i poosiowe. Znając geometrię krążnika jesteśmy w stanie przeliczyć wartości mierzonych sił na sworzniach na wartości sił działające na łożyska krążników [2]. Suma sił promieniowych działających na dwa łożyska tego samego krążnika daje informacje o wypadkowym obciążeniu działającym na krążnik, natomiast różnica sił poosiowych działających na sworznie tego samego krążnika daje informacje o sile tarcia pomiędzy taśmą



Rys. 1. Sworzień pomiarowy z naklejonymi tensometrami
Fig. 1. Measuring bolt with installed strain gauge



Rys. 2. Oznaczenie mierzonych sił działających na krążniki i oznaczenie sworzni pomiarowych
Fig. 2. Designation of measuring forces and measuring bolts

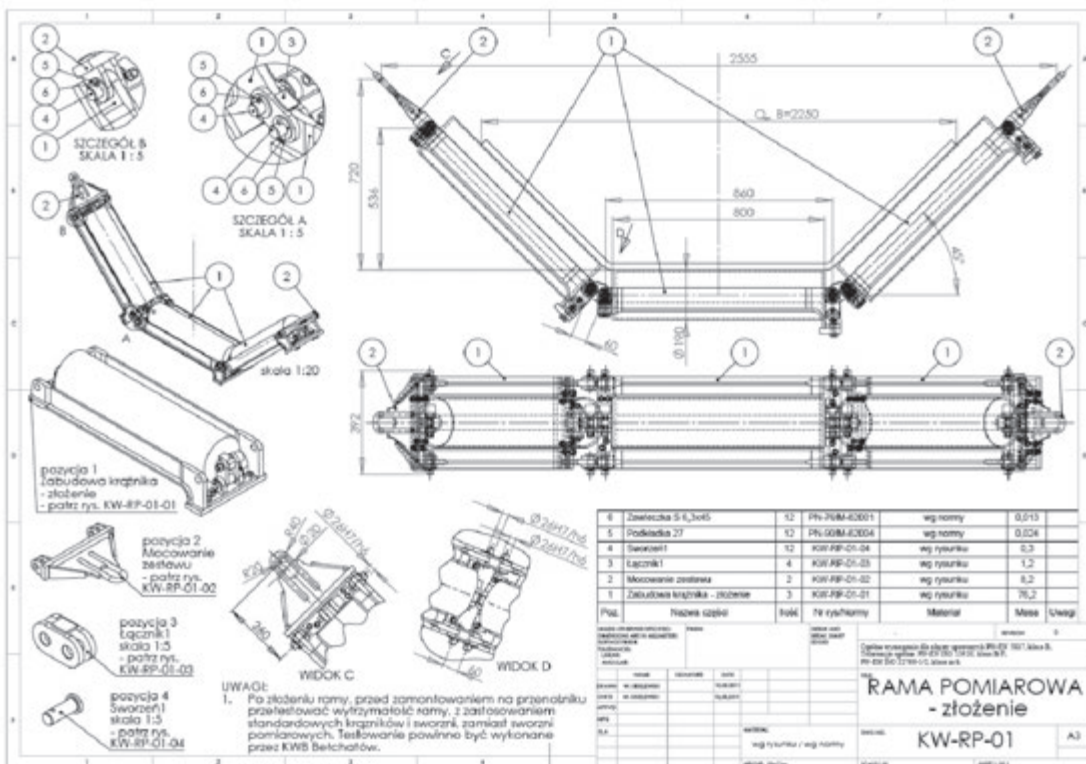
a płaszczem krążnika. Siła poosiowa może być powodowana przez boczne zbieganie taśmy oraz przez samoczynne wychylenie się przegubowego zestawu krążnikowego [3].

W celu uzyskania miejsca na naklejenie tensometrów konieczne jest zebranie pewnej części materiału sworzni, co powoduje jego osłabienie oraz spadek wytrzymałości sworzni w porównaniu do sworzni typowych. W praktyce okazało się, że ogranicza to możliwości pomiarowe do około połowy wydajności masowej przenośnika taśmowego. Przekroczenie skutkuje zniszczeniem sworzni pomiarowych, powoduje trwałe odkształcenie sworzni B1 i B6 (rys. 2) wskutek przenoszenia największych sił poosiowych. Dlatego zastosowano specjalną ramę pomiarową, która przenosi siły poosiowe, a sworznie pomiarowe przenoszą obciążenia działające tylko na pojedynczy krążnik.

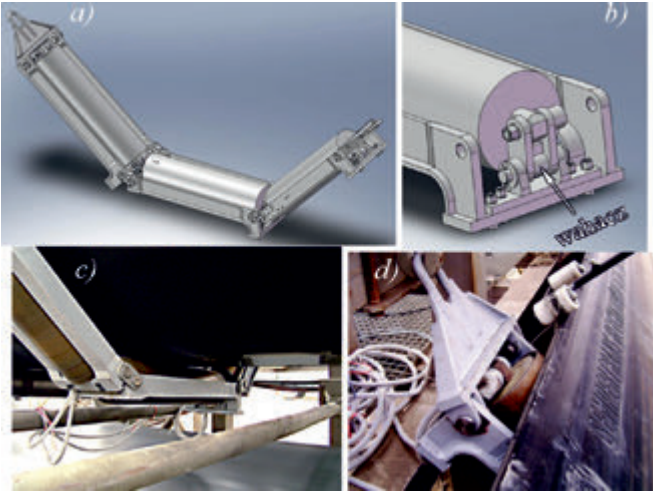
Zastosowanie ramy pomiarowej

W celu umożliwienia pomiaru obciążeń krążników w całym zakresie wydajności masowej przenośnika taśmowego, oraz zwiększenia dokładności pomiarów, zaprojektowano specjalną ramę pomiarową (rys. 3, 4).

Rama pomiarowa została zaprojektowana w taki sposób aby zachować ruchliwość typowego górnego zestawu krążnikowego. Krążniki są osadzone w niezależnych segmentach (rys. 3 poz. 1) połączonych ze sobą za pomocą łączników (rys. 3 poz. 3), całość jest zawieszona na konstrukcji przenośnika za pomocą mocowań (rys. 3 poz. 2). Po zamontowaniu krążników w ramie, zmianie uległ układ sił przenoszonych przez sworznie pomiarowe. Dotyczy to sił poosiowych, które zostały przejęte przez ramę pomiarową, co wyeliminowało ryzyko trwałego odkształcenia sworzni. Każdy ze sworzni pomiarowych, B1 – B6 (rys. 2) rejestruje siły w płaszczyznach wzajemnie prostopadłych, siłę promieniową oraz poosiową w przypadku po-

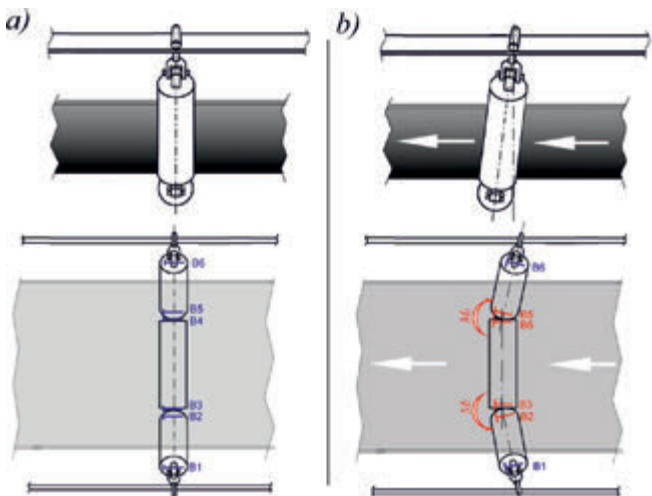


Rys. 3. Dokumentacja złożeniowa ramy pomiarowej
Fig. 3. Assembly drawing of measuring frame



Rys. 4. Rama pomiarowa z krążnikami – aksonometria (a), wahlwy sposób mocowania jednej strony osi krążnika (b), widok ramy na przenośniku (c), sposób podwieszenia ramy na przenośniku (d).
Fig. 4. Measuring frame with installed idlers – perspective geometry (a), flexible connection of one side axis of idler (b), view of measuring frame installed on conveyor (c), connecting measuring frame to steel construction of conveyor (d)

miaru bez zastosowania ramy pomiarowej. Zastosowanie ramy pomiarowej wraz z jednym wahaczem (rys. 4 b) na krążniku zmienia sposób pomiaru sił poosiowych. Konstrukcja ramy przenosi siły rozciągające, które są większe od sił promieniowych i były przyczyną uszkodzeń sworzni. Zastosowanie ramy pomiarowej wymagało zastosowania takiego rozwiązania, które po zamontowaniu krążników nie będzie wywoływało żadnych sił wewnętrznych w osi krążnika oraz działających na sworznie pomiarowe, dlatego zastosowano wahacz w każdym segmencie ramy (rys. 3 poz. 1). W tej sytuacji sworznie pomiarowe zamontowane w wahaczu nie rejestrują sił poosiowych, siły te są rejestrowane przez sworznie umieszczone w tej końcówce krążnika bez wahacza. Zarejestrowane przebiegi sił poosiowych z zastosowaniem ramy pomiarowej dają wprost informacje o sile tarcia pomiędzy taśmą a płaszczem krążnika, nie ma ryzyka przekroczenia zakresu pomiarowego, uzyskujemy większą dokładność pomiaru sił tarcia. Zastosowanie ramy pomiarowej wraz z wahaczami nie zmienia sposobu pomiaru sił promieniowych.



Rys. 5. Ułożenie krążników zestawu w trakcie postoju przenośnika (a), powstawanie momentów zakłócających pomiar w czasie ruchu przenośnika (b) [4]
Fig. 5. Placement of idlers in idler set without work (a), formation of moment of force that interfere measuring during conveyor operating (b) [4]

Budowa i ruchliwość przegubowego zestawu krążnikowego powoduje, że podczas pracy ulega on samoczynnemu wyprzedzeniu (rys. 5).

Samoczynne wyprzedzenie przegubowego zestawu krążnikowego powoduje pojawianie się momentów zakłócających pomiar M_l i M_p na sworzniach pomiarowych B2 – B5, których nie kompensował układ pomiarowy. Dzięki zastosowaniu ramy pomiarowej, dodatkowe siły wewnętrzne pojawiające się w układzie pomiarowym powodowane przez samoczynne wyprzedzenie zestawu przegubowego, zostały przejęte przez sztywną ramę. Sworznie pomiarowe nie przenoszą sił z całego układu pomiarowego, tylko siły od poszczególnych krążników, dzięki czemu dokładność wykonywanych pomiarów wzrosła.

Pomiary na przenośniku

Pomiary obciążeń krążników przeprowadzono na przenośniku nadkładowym pracującym w kopalni odkrywkowej. Na trasie przenośnika jest zabudowany specjalny człon pomiarowy (rys. 6), konstrukcja tego członu umożliwia zamontowanie ramy pomiarowej (rys. 7) i rejestrację obciążeń krążników. Ponadto człon umożliwia zmianę parametrów konstrukcyjnych przenośnika (zmiana rozstawu zestawów krążnikowych, zmiana kąta niecki). Powyższa zmiana konstrukcji trasy na stacji pomiarowej pozwala na określenie wpływu tych czynników na wartość obciążeń krążników oraz na optymalizację pod względem energochłonności zestawu.



Rys. 6. Człon pomiarowy zamontowany na trasie przenośnika
Fig. 6. Measuring unit assembled on construction of conveyor



Rys. 7. Widok ramy pomiarowej przygotowanej do zamontowania w członie pomiarowym
Fig. 7. View of measuring frame prepared to mounting in measuring unit

Badania przeprowadzono na przenośniku o następujących parametrach:

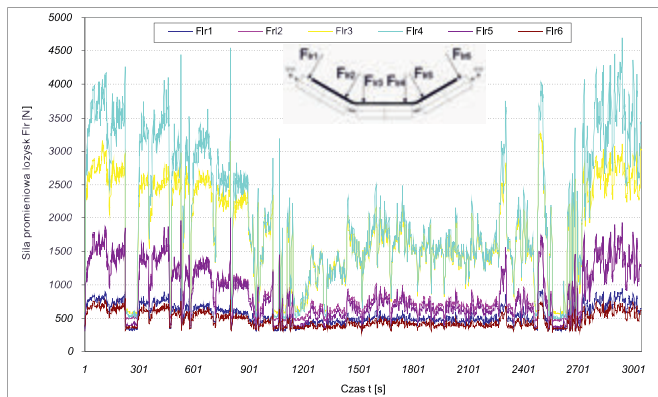
- długość przenośnika - $L = 1205$ m, poziomy
- szerokość taśmy - $B = 2250$ mm

- prędkość taśmy - $v_t = 5,98$ m/s
- taśma typu St 3150
- masa jednostkowa taśmy $m_t = 46,67$ kg/m²

Transportowanym materiałem był nadkład o gęstości usypowey $\rho = 800$ kg/m³ i kącie naturalnego usypu na taśmie $\alpha = 17^\circ$. Wydajność nominalna badanego przenośnika wynosiła 25 000 t/h. Podparcie ciągną górnego przenośnika tworzyły przegubowe zestawy krążnikowe z kątem niecki $\lambda = 45^\circ$. Zestawy górne składały się z krążników o średnicy $D_{kg} = 0,194$ m i długości płaszcza $l_{kr} = 0,8$ m. Równocześnie z pomiarami obciążeń sworzni rejestrowano chwilowe obciążenia pionowe całego zestawu krążnikowego. Rejestrowana za pomocą tych czujników wypadkowa siła pionowa pochodziła od transportowanego urobku oraz masy taśmy. Dzięki rejestracji siły pionowej można było analizować wyniki pomiarów w funkcji wydajności chwilowej przenośnika.

Wyniki pomiarów

Przeprowadzone pomiary na przenośniku pozwoliły zarejestrować transportowaną nieregularną strugę urobku. Przykładowy przebieg (rys. 8) pokazuje zmienność obciążeń poszczególnych łożysk krążników w zestawie. Krążnikiem najbardziej obciążonym jest krążnik środkowy, natomiast najmniej obciążone są łożyska skrajne w krążnikach bocznych. Widoczna jest również pewna niesymetryczność obciążenia w układzie, może być to spowodowane bocznym zbieganiem taśmy, lub sposobem załadunku urobku na taśmę przenośnika.



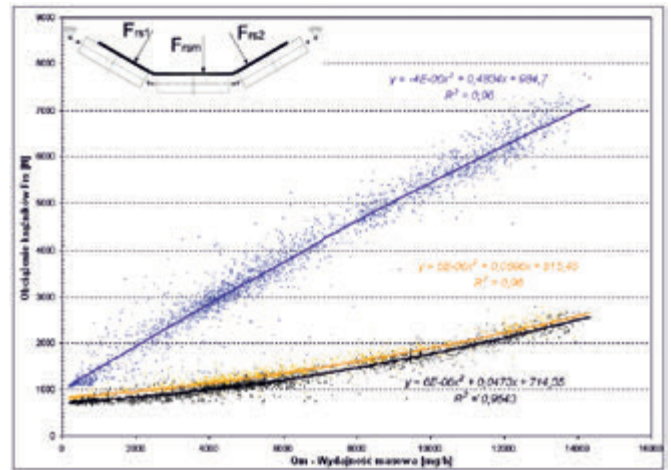
Rys. 8. Przebieg sił promieniowych dla poszczególnych łożysk zestawu krążnikowego

Fig. 8. Variation of radial forces for different bearing

Układ pomiarowy (rys. 2) został wyposażony w czujniki sił 1, dzięki którym można wyznaczyć chwilową wydajność masową przenośnika. Udział poszczególnych krążników w przenoszeniu całego obciążenia w funkcji wydajności masowej pokazano na rysunku 9. Przedstawienie zależności w funkcji wydajności masowej, a nie jak wcześniej w funkcji czasu, daje doskonale możliwości porównawcze wpływu czynników konstrukcyjnych przenośnika na wartość reakcji na krążnikach.

Obciążenie promieniowe

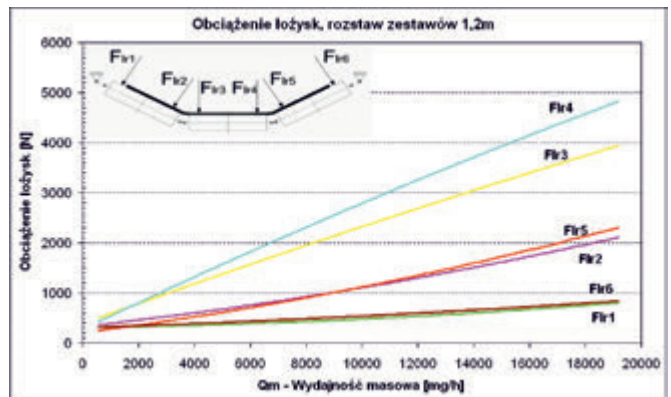
W celu określenia wpływu czynników konstrukcyjnych przenośnika taśmowego na wartość reakcji na krążnikach, przeprowadzono dwie serie pomiarowe na opisywanym przenośniku. Na członie pomiarowym został ustawiony rozstaw zestawów krążnikowych 1,2 m, a następnie 1,45 m. Wyniki przeprowadzonych pomiarów i analiz przedstawiają odpowied-



Rys. 9. Wyniki pomiarów obciążeń poszczególnych krążników w zestawie w funkcji wydajności masowej

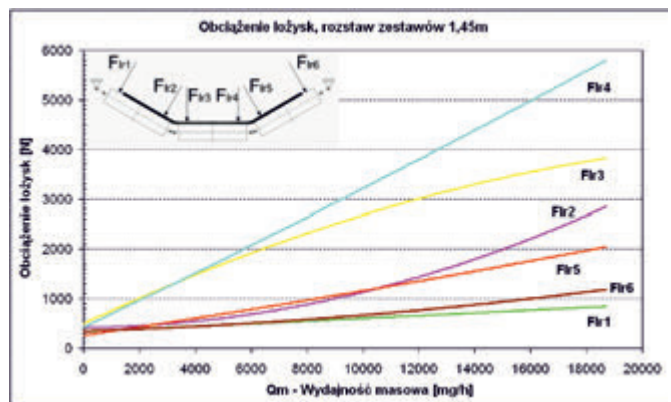
Fig. 9. Loading of particular idlers for mass capacity

nio rysunki 10 – 11. Dzięki zastosowaniu ramy pomiarowej udało się zarejestrować przebieg zmienności urobku w czasie, w całym zakresie wydajności masowej przenośnika taśmowego. Pierwsza seria pomiarowa została przeprowadzona dla rozstawu 1,2 m, a następnie dla rozstawu 1,45 m. Widoczny przy tej zmianie jest znaczny wzrost obciążeń łożyska krążnika środkowego, co będzie miało decydujący wpływ na spadek trwałości łożysk i krążników [5]. Dla większego rozstawu widoczna jest także większa niesymetryczność w obciążeniu łożysk, co dla krążnika środkowego będzie miało niekorzystny wpływ na spadek jego trwałości.



Rys. 10. Obciążenie łożysk w funkcji wydajności masowej, dla rozstawu 1,2 m

Fig. 10. Loading of particular bearings for mass capacity for idler set 1.2 m



Rys. 11. Obciążenie łożysk w funkcji wydajności masowej, dla rozstawu 1,45 m

Fig. 11. Loading of particular bearings for mass capacity for idler set 1.45 m

Siła poosiowa

Drugą zaletą ramy pomiarowej jest możliwość dokładnego zarejestrowania sił poosiowych. Dzięki zastosowaniu wahacza na jednym końcu krążnika, sworzeń pomiarowy na drugim jego końcu daje informacje wprost o sile tarcia pomiędzy taśmą a płaszczyzną krążnika. Siła tarcia jest wywołana samoczynnym wyprzedzeniem zestawu krążnikowego i bocznym zbieganiem taśmy. W ogólnym ujęciu na siłę tarcia ma wpływ wiele czynników, zależy od:

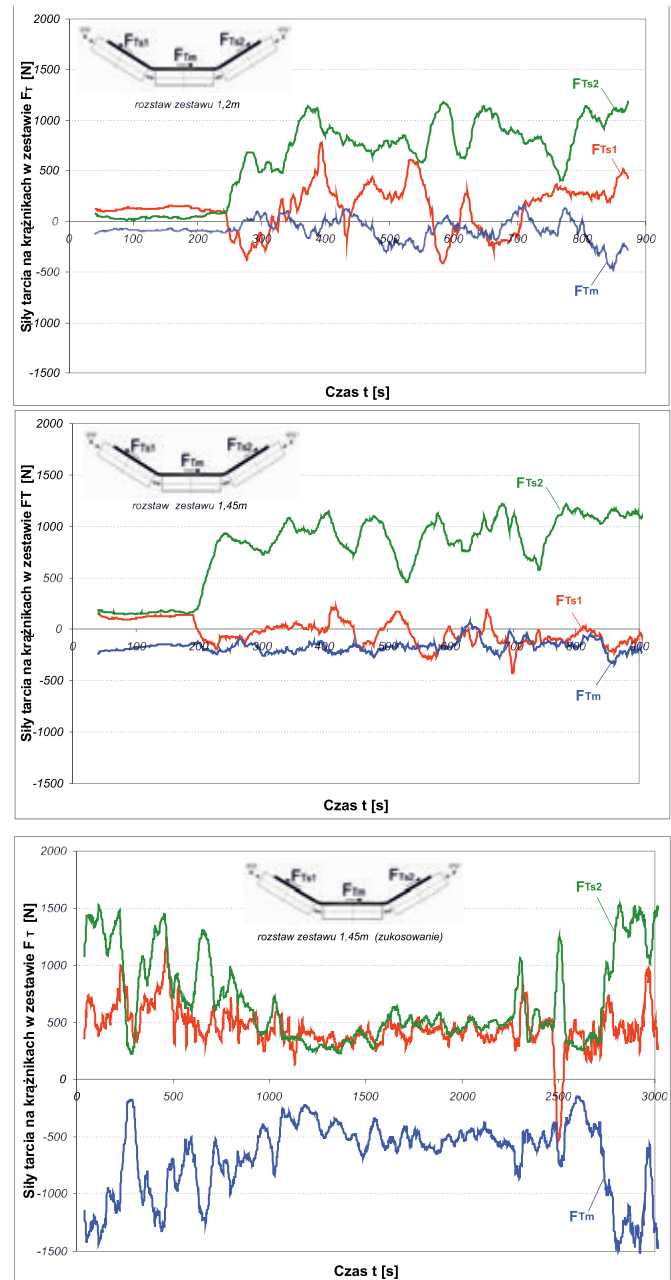
- konstrukcji zestawu: sztywny, przegubowy,
- dokładności ustawienia trasy przenośnika,
- profilu terenu, na którym dany przenośnik jest usytuowany (poziomowe, wznoszący lub opadający),
- pochylenie trasy przenośnika wymusza wyprzedzenie przegubowych zestawów krążnikowych,
- stopnia załadunku przenośnika, większe obciążenie wymusza większe wyprzedzenie przegubowych zestawów, a ten stan wymusza występowanie większych sił tarcia na krążnikach bocznych,
- rozstawu zestawów krążnikowych, większy rozstaw oznacza większe obciążenie zestawów, co sprowadza się do sytuacji opisanej w powyższym warunku.

Wybrane przebiegi sił tarcia przedstawiono na rysunku 12. Przeanalizowano także wpływ złego ustawienia trasy przenośnika, ustawiono zestawy krążnikowe z rozstawem 1,45 m oraz dodatkowo zukosowano zestaw pomiarowy pod kątem ok. $2,7^\circ$.

Wartości sił tarcia jako dodatnie należy odczytywać zgodnie z załączonymi na wykresach schematami. Dla krążników bocznych przyjęto zwrot siły tarcia jako dodatni na zewnątrz zestawu krążnikowego, dla krążnika środkowego zgodnie ze schematem. Dla rozstawu 1,2 m wartość siły tarcia dla krążnika środkowego oscyluje wokół wartości równej zero, natomiast dla krążników bocznych siła przyjmuje wartości dodatnie, co jest spowodowane wyprzedzeniem przegubowego zestawu krążnikowego. Zwiększenie rozstawu zestawu powoduje zwiększenie sił tarcia. Powodowane jest to oddziaływaniem zwiększonego obciążenia przypadającego na zestaw pomiarowy, które prowadzi do samoczynnego wychylenia się osi krążników z płaszczyzny prostopadłej do założonego kierunku ruchu taśmy, co w konsekwencji powoduje powstanie większych sił tarcia. Dodatkowo jest zauważalna pewna asymetria w zarejestrowanych przebiegach sił tarcia do krążników bocznych, przyczyną takiej nierównomierności może być boczne zbieganie taśmy. Świadczy o tym także przebieg sił tarcia na środkowym krążniku, który odbiega od wartości zerowych. Analizowany zestaw krążnikowy zukosowany pod kątem ok. $2,7^\circ$ w połączeniu z samoczynnym wychyleniem się zestawu przegubowego skutkuje ujemnym wypadkowym wyprzedzeniem krążników bocznych. W związku z tym zwroty sił tarcia na krążnikach bocznych skierowane są wzdłuż tworzących ku górze, co ma wpływ na spadek obciążeń krążnika środkowego. Należy zaznaczyć, że przy innym wyprzedzeniu krążników bocznych może wystąpić efekt odwrotny. Wymuszone zukosowanie zestawu krążnikowego powoduje także powstawanie znacznych sił tarcia na krążniku środkowym.

Możliwości pomiaru obciążeń krążników na dowolnym przenośniku i w dowolnym punkcie trasy przenośnika

Rama pomiarowa stwarza doskonale możliwości pomiaru obciążeń krążników w dowolnym punkcie trasy przenośnika. Jej zaletą jest stosunkowo niewielka masa własna i łatwy sposób



Rys. 12. Przebiegi sił tarcia na krążnikach zestawu: a) dla rozstawu 1,2 m, b) dla rozstawu 1,45 m, c) dla zestawu zukosowanego dla rozstawu 1,45 m

Fig. 12. Variation of friction forces on particular idler: a) for idler set 1.2 m, b) for idler set 1.45 m, c) for beveled idler set 1.45 m

podwieszenia na konstrukcji przenośnika. Dodatkowo wraz z osprzętem do pomiaru i akwizycji danych jest mobilnym urządzeniem do pomiaru praktycznie w każdym miejscu na trasie przenośnika. Oprócz pomiarów przeprowadzanych w Instytucie Górnictwa, rama może być dedykowana do istniejących przenośników w celu określenia rzeczywistego zakresu zmienności obciążeń działających na krążniki. Te dane mogą być cennym źródłem informacji dla służb utrzymania ruchu, np. w zarządzaniu gospodarką krążnikami. Można wtedy planować zakupy nowych krążników, dedykowanych rzeczywistym warunkom eksploatacyjnym.

Wnioski

Zaprezentowana tensometryczna metoda pomiarów z wykorzystaniem ramy pomiarowej okazała się przydatna do

określenia rzeczywistych sił działających na krążniki. Użycie ramy pomiarowej pozwoliło na pomiary w całym zakresie zmienności strugi urobku, bez ryzyka uszkodzenia sworzni pomiarowych. Uzyskane wyniki pomiarów stanowią cenne źródło informacji zarówno dla użytkowników jak i projektantów krążników. Wartości sił promieniowych mogą być także podstawą do optymalizacji rozstawu zestawów krążnikowych, natomiast

sił tarcia pomiędzy taśmą a płaszczem krążnika, pokazują na zjawiska towarzyszące podczas pracy zestawu przegubowego. Dodatkowo na podstawie pomiarów zestawu zukosowanego widoczny jest negatywny skutek złego ustawienia trasy przenośnika, dlatego należy dołożyć wszelkich starań przy ustawianiu trasy przenośnika taśmowego, żeby zminimalizować siły tarcia i związane z tym opory wewnętrzne.

Publikacja współfinansowana ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Literatura

- [1] Bukowski J., Gładysiewicz L., Metoda badań oporów obracania krążników pod obciążeniem. *Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze*, nr 1/2010
- [2] Bukowski J., Gładysiewicz L., Kisielewski W., Król R., Eksperymentalne badania obciążeń krążników nośnych. *Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze*, nr 3/2011
- [3] Król R., Kisielewski W., Identyfikacja sił tarcia w kontakcie krążników z taśmą w ciągnie górnym przenośnika taśmowego. *Interdyscyplinarne zagadnienia w górnictwie i geologii Tom III*. Wrocław 2012
- [4] Bukowski J., Wpływ obciążeń eksploatacyjnych na opory obracania krążników. *Rozprawa doktorska*, Wrocław 2012
- [5] Król R., Ocena trwałości krążników dla rzeczywistych obciążeń przenośnika taśmowego. *Przegląd Górniczy*. 2011

Z cyklu: Sentymentalne wędrówki po meandrach polskiej myśli techniki górniczej



Reprint Renata S-K

Koparka SRs 2000 w drodze na miejsce pracy