

2

DOŚWIADCZALNE BADANIA POŁOŻENIA OGNIW NA BĘBNIE ŁAŃCUCHOWYM O DUŻYM STOPNIU ZUŻYCIA

2.1 WSTĘP

W światowym i polskim górnictwie węgla kamiennego względy ekonomiczne wymuszają pracę przodków ścianowych o dużej koncentracji wydobycia i dużym postępie dobowym. Oznacza to, że maszyny tworzące ścianowy kompleks zmechanizowany muszą mieć wysokie wydajności i być niezawodne. O uzyskiwanym wydobyciu z przodka ścianowego decyduje wydajność maszyny urabiającej. Dlatego buduje się kombajny ścianowe i ścianowe strugi węglowe o coraz wyższych parametrach, przy czym wydajność układu transportowego musi być wyższa od wydajności maszyny urabiającej. Aby sprostać tym wymaganiom konstruuje się ścianowe przenośniki zgrzeblowe o coraz większych mocach napędów, większych prędkościach łańcuchów zgrzeblowych, większych masach i wielkościach łańcuchów ogniowych i zgrzebeł. W przenośnikach ścianowych, które wyposażone są w dwa lub trzy zespoły napędowe, moce pojedynczych silników napędowych przekraczają już 1500 kW, a łączna moc napędów przekracza 4000 kW [5]. Stosuje się łańcuchy o wielkościach 2x30x108, 2x34x126, 2x38x137, 2x42x146 mm i większych.

2.2 ZUŻYCIE BĘBNA ŁAŃCUCHOWEGO

Bęben łańcuchowy jest jednym z najważniejszych elementów układu napędowego przenośnika ścianowego, ponieważ na nim odbywa się przekazywanie siły uciążu wywołanej silnikiem elektrycznym łańcuchowi zgrzeblowemu, który powoduje przemieszczanie urobku węglowego. Bębny łańcuchowe przenoszą wysoki moment obrotowy z reduktora napędu i zazębiając się z torusami tylnymi ogniów poziomych łańcucha przekazują łańcuchowi zgrzeblowemu jako siłę pociągową. Wchodzeniu ogniów łańcucha w zazębienie z segmentami zębów bębna oraz wyzębieniu ogniów w warunkach poślizgu ogniów na flance zęba towarzyszą znaczące siły nacisku i tarcia, mające decydujący wpływ na zużycie segmentów zębów bębna. Charakterystyczny kształt ogniów łańcucha zgrzeblowego wymusza złożoną stereometrię bębna łańcuchowego, tym bardziej, że łańcuch zgrzeblowy złożony jest z dwóch równoległych łańcuchów ogniowych, do których przymocowane są zgrzebła. Powoduje to, że podczas współdziałania bębna łańcuchowego z łańcuchem zgrzeblowym występują złożone zjawiska kinematyczne, dynamiczne i trybologiczne.

Bębny łańcuchowe i łańcuchy pracują często w środowisku o znacznej agresywności, na którą składa się oddziaływanie wód kopalnianych, często silnie zasolonych, gazów postrzałowych i spalin silników wysokoprężnych zawierających tlenki siarki i azotu oraz inne agresywne związki chemiczne. Znacząca jest również obecność czynników erozyjnych, takich jak pyły kamienny i węglowy, piryty, a także resztki piasku podsadzkowego. Wydatnie zwiększają one zużycie tarciove (tribologiczne) wszystkich współpracujących elementów układów cięgowych. Postępujące zużycie tarciove bębnow i ogniw łańcucha powoduje intensyfikację powstawania ubytków materiałowych [6]. W praktyce eksploatacyjnej obserwuje się najczęściej synergiczne sprzężenie oddziaływań zmęczeniowych, zużycia ściernego, adhezyjnego, korozyjnego i chemicznego wpływających na degradację własności użytkowych bębnow łańcuchowych przenośników zgrzebłowych [4]. Dominujące znaczenie ma przy tym zużycie zmęczeniowe i ścierno-korozyjne. Te rodzaje zużycia stanowią łącznie aż około 75% głównych przyczyn zniszczeń prowadzących do wycofania bębnow łańcuchowych przenośników zgrzebłowych z eksploatacji [3].

Zużycie ściernie powoduje ubytki materiału na profilach zębów oraz dnach gniazda. Widoczne są przy tym istotne różnice zarówno w wielkości zużycia jak i stereometrii gniazda po stronie napędowej stykającej się z torusem tylnym ogniwa poziomego oraz biernej współdziałającej z torusem przednim ogniwa poziomego (rys. 2.1).



Rys. 2.1 Bęben łańcuchowy wycofany z eksploatacji ze względu na duży stopień zużycia

W zaprezentowanym bębnie łańcuchowym dno gniazda po stronie współdziałającej z torusem przednim ogniwa poziomego jest mocno zużyte na bardzo małej powierzchni, co powoduje osiadanie ogniwa poziomego głęboko poniżej nominalnej powierzchni dna gniazda. Niewielkie jest przy tym zużycie nieroboczej flanki zęba w porównaniu do flanki zęba po stronie napędowej.

Z punktu widzenia prawidłowości współpracy łańcuchów z bębniami oraz zachowania dostatecznej sprawności zazębienia szczególne znaczenie w praktyce mają dwie wielkości określające stopień zużycia ściernego bębnow. Są to następujące wielkości liniowe:

- obniżanie się położenia dna gniazda bębna czyli zmniejszanie się odległości dna gniazda od osi obrotu bębna,

- wzrost długości gniazd współpracujących z ogniwami poziomymi, który odbywa się kosztem zmniejszania się grubości zębów.

Dno gniazda nie stanowi jednolitej płaszczyzny, gdyż jest przedzielone wzdłużnym rowkiem zębnym, w którym układają się ogniwa pionowe łańcucha. Ponadto w środkowej części dna gniazda znajduje się poprzeczna wnęka na zgrzebło. Praktycznie więc dno gniazda stanowią cztery fragmenty płaszczyzny o niewielkim polu powierzchni, przy czym dwa fragmenty od strony nieroboczej flanki zęba współdziałają z torusem przednim ogniwa poziomego, zaś dwa fragmenty od strony roboczej flanki zęba współdziałają z torusem tylnym ogniwa poziomego. Relacje geometryczne pomiędzy bębnum łańcuchowym a ogniwami łańcucha decydują o położeniu ogniw łańcucha w gniazdach bębna i miejscu wystąpienia sprzężenia kształtowego pomiędzy segmentami zębów bębna i ogniwami poziomymi łańcucha. Opis współdziałania łańcucha z bębnum napędowym jest złożony. Położenie ogniw łańcucha względem siebie oraz względem gniazd bębna łańcuchowego zależy od wielu czynników. Należą do nich liczba zębów bębna, jego średnica, kształt zębów i gniazd, podziałka łańcucha oraz jej równomierność, tarcie pomiędzy łańcuchem i bębnum oraz pomiędzy poszczególnymi ogniwami w łańcuchu.

Zmiana odległości dna gniazda od środka koła gniazdowego spowodowana zużyciem ściernym den gniazd bębna wpływa na wartość kąta nachylenia ogniw poziomych łańcucha względem den gniazd. Im większe zużycie den gniazd, mniejsza liczba zębów bębna łańcuchowego i większe wydłużenie podziałek ogniw łańcucha, tym ogniwa poziome są silniej nachylone względem dna gniazda a ich torusy tylne osiadają wyżej na flance zęba [1, 2].

2.3 DOŚWIADCZALNE BADANIA POŁOŻENIA OGNIW

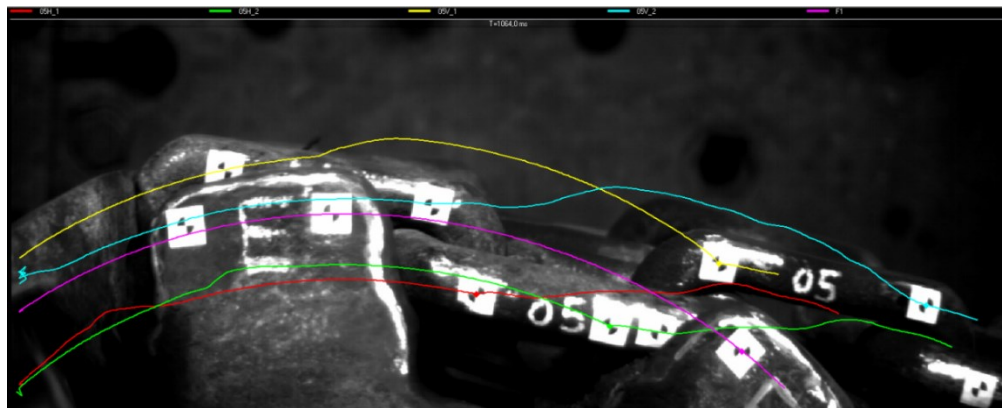
Stanowisko badawcze do obserwowania i rejestracji położenia ogniw na flankach zębów bębna łańcuchowego wyposażono w przenośnik ścianowy z łańcuchem zgrzeblowym wielkości 2x42x136 mm, poruszającym się z prędkością 1,3 m/s, który współdziałał z bębnum łańcuchowym o liczbie zębów $z = 7$. W przenośniku wykorzystano łańcuch zgrzeblowy i bęben łańcuchowy wycofany z eksploatacji ze względu na duży stopień zużycia, co zapewniało warunki do występowania poślizgu torusa tylnego ogniwa poziomego na flance zęba. Do analizy przebiegu zmian położenia ogniw podczas ich zazębiania się z bębnum łańcuchowym zastosowano kamerę szybką TROUBLESCHOOTER HR firmy FASTEC IMAGING, zapewniając odpowiednie oświetlenie filmowanych obiektów (bęben łańcuchowy i łańcuch zgrzeblowy). Aby zapewnić prostopadłość osi optycznej obiektywu do płaszczyzny ruchu obserwowanych obiektów, zasłoniętych bocznymi blachami kadłuba wysypowego napędu przenośnika, wycięto odpowiednio duże otwory w blachach bocznych kadłuba.

Przeprowadzenie analizy ruchu łańcucha zgrzeblowego podczas kontaktu torusów tylnych ogniw poziomych z flankami zębów, w oparciu o zarejestrowany materiał filmowy, wymagało określenia stałych punktów odniesienia na poszczególnych elementach przenośnika zgrzeblowego. W tym celu naklejono na zęby bębna oraz na ogniwa łańcucha naklejki z oznaczonymi szachownicami punktami orientacyjnymi. Oznaczenie punktów orientacyjnych na elementach przenośnika za pomocą szachownic podyktowane było przez wymogi programu komputerowego TEMA MOTION 2D, którego użyto do analizy ruchu. Na znacznikach umieszczonych na zębach bębna oraz na ogniwach poziomych i pionowych łańcucha znajdowały się po dwa punkty. Takie oznaczenie pozwoliło na określenie

trajektorii ruchu ogniwi, a także zmian kątów ustawienia ogniwi łańcucha względem zębów bębna oraz względem innych ogniwi. Dla identyfikacji współpracujących w danej chwili elementów, zęby bębna oznaczono literami, a każdą parę ogniwi (ogniwo poziome i następujące po nim ogniwo pionowe) numerem. Dodatkowe oznaczenia punktów, które wprowadzono na rysunkach w celu ich jednoznacznej identyfikacji, wyrażają odpowiednio: 1 – znacznik lewy (pierwszy od strony bębna przy zasadniczym kierunku obrotów bębna), 2 – znacznik prawy (drugi od strony bębna przy zasadniczym kierunku obrotów bębna), H – na ogniwie poziomym, V – na ogniwie pionowym.

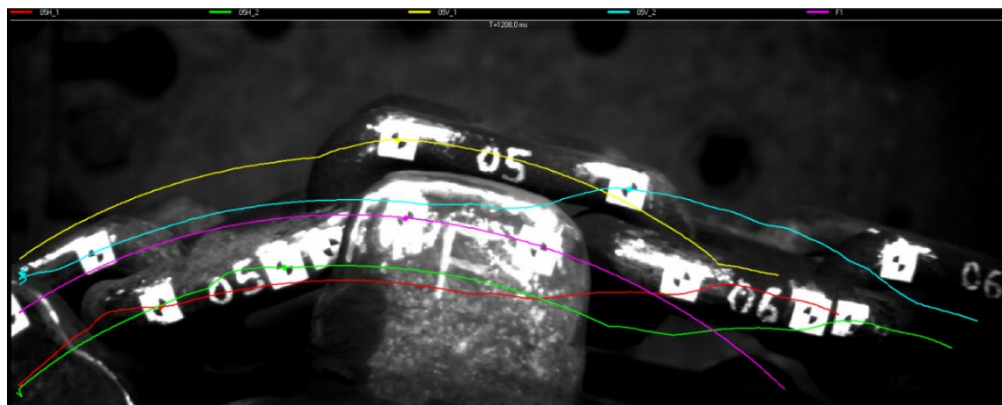
Program komputerowy TEMA MOTION 2D, którego użyto do analizy ruchu pozwala na automatyczne śledzenie zdefiniowanych punktów. Podstawowym wynikiem takiej analizy są zbiory punktów określających trajektorię każdego punktu orientacyjnego w kartezjańskim układzie odniesienia z możliwością naniesienia trajektorii ruchu punktów na obraz filmu. Prezentowane rysunki (rys. 2.2-2.4) przedstawiają wybrane klatki filmu z naniesioną trajektorią punktów na parze ogniwi oznaczonych numerem 05, z której ogniwo poziome 05H wchodzi w zazębienie z zębem oznaczonym literą F. Kolejno na rysunkach przedstawiono sytuację, w której:

- tylny torus ogniwa poziomego nr 05 zetknął się z flanką zęba F – 1064 ms filmu (rys. 2.2);



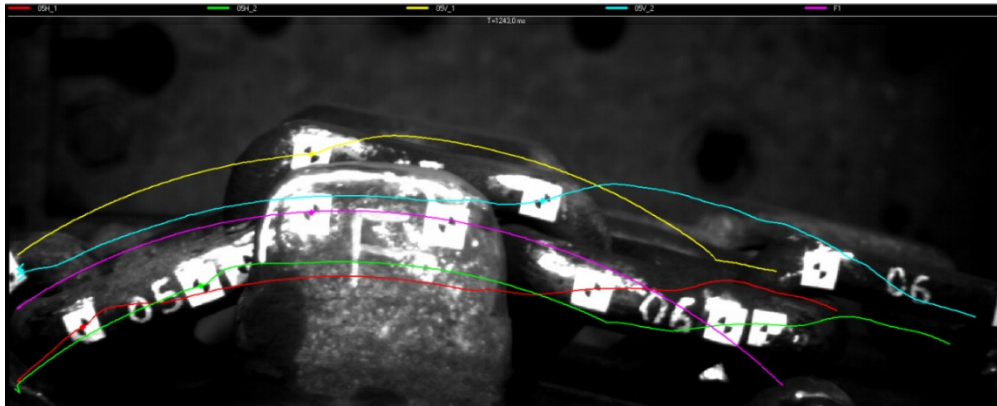
Rys. 2.2 Przebieg obrotu bębna o kąt podziałowy – 1064 ms filmu

- rozpoczął się poślizg torusa przedniego ogniwa poziomego nr 05 po dnie gniazda i torusa tylnego tego ogniwa po flance zęba F – 1208 ms filmu (rys. 2.3);



Rys. 2.3 Przebieg obrotu bębna o kąt podziałowy – 1208 ms filmu

- zakończył się poślizg torusa tylnego ogniwa poziomego nr 05 po flance zęba F (torus tylny ogniwa poziomego 05 zetknął się z dnem gniazda – 1243 ms filmu (rys. 2.4).



Rys. 2.4 Przebieg obrotu bębna o kąt podziałowy – 1243 ms filmu

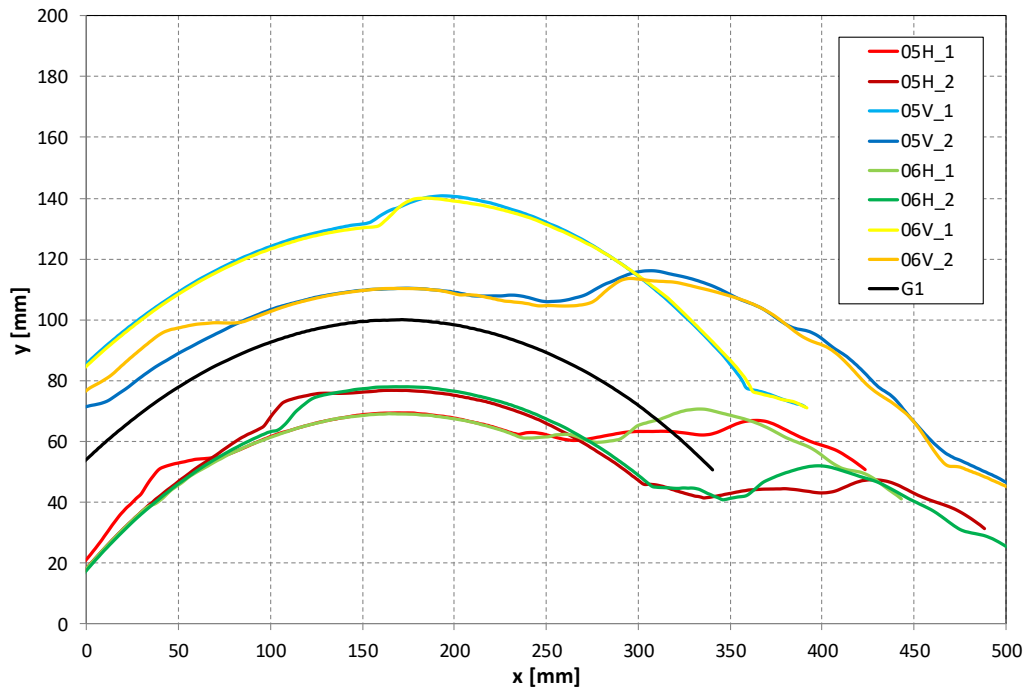
Przedstawiona sytuacja obrazuje przebieg wchodzenia ogniwa poziomego w zazębienie z flanką zęba i poślizg torusa tylnego ogniwa po flance zęba w stronę dna gniazda. Ze względu na duży stopień zużycia łańcucha i bębna łańcuchowego torus przedni ogniwa poziomego nr 05 styka się z dnem gniazda niemal równocześnie z chwilą kontaktu torusa tylnego tego ogniwa z flanką zęba F (rys. 2.2). Oznacza to, że pierwszy przedział obciążenia w czasie obrotu o kąt podziałowy jest bardzo krótki, co powoduje wydłużenie drugiego i trzeciego etapu obciążenia, tworząc warunki do poślizgu ogniwa poziomego po flance zęba. Przed poślizgiem torusa tylnego po flance zęba w stronę dna gniazda następuje poślizg odciążonego torusa przedniego ogniwa poziomego nr 05 po dnie gniazda (zbliżenie trajektorii lewego znacznika ogniwa poziomego nr 05 oznaczonej kolorem czerwonym do trajektorii znacznika zęba F oznaczonej kolorem fioletowym w sytuacji przedstawionej na rys. 2.3). W chwili poślizgu torusa tylnego ogniwa poziomego nr 05 po flance zęba całe ogniwo osiada na dnie gniazda (oddalenie się trajektorii prawego znacznika ogniwa poziomego 05H 2 oznaczonej kolorem zielonym i trajektorii lewego znacznika ogniwa poziomego 05H 1 oznaczonej kolorem czerwonym od trajektorii znacznika zęba F oznaczonej kolorem fioletowym w sytuacji przedstawionej na rys. 2.4).

W analizowanym przypadku współdziałania łańcucha zgrzebłowego i bębna łańcuchowego wycofanych z eksploatacji ze względu na duży stopień zużycia (łańcuch o zwiększonej podziałce ogniw oraz bęben o obniżonym dnie gniazda i zwiększonym kącie nachylenia flanki zęba do dna gniazda), do poślizgu torusa tylnego na flance zęba dochodzi na wszystkich ogniwach wchodzących w zazębienie z bębniem. Przedstawiono zarejestrowane przebiegi poślizgu kolejnych ogniw poziomych na flankach zębów bębna łańcuchowego. Trajektorie znaczników umieszczonych na ogniwach przedstawione w układzie x-y na dwóch kolejnych ogniwach poziomych (05H 1, 05H 2 i 06H 1, 06H 2) oraz następujących po nich ogniwach pionowych (05V 1, 05V 2 i 06V 1, 06V 2) wskazują na niewielkie różnice w położeniu kolejnych ogniw podczas wchodzenia w zazębienie w stosunku do bębna łańcuchowego (G1). Również poślizgi kolejnych ogniw poziomych 05H i 06H występują w podobnym położeniu bębna łańcuchowego (rys. 2.5).

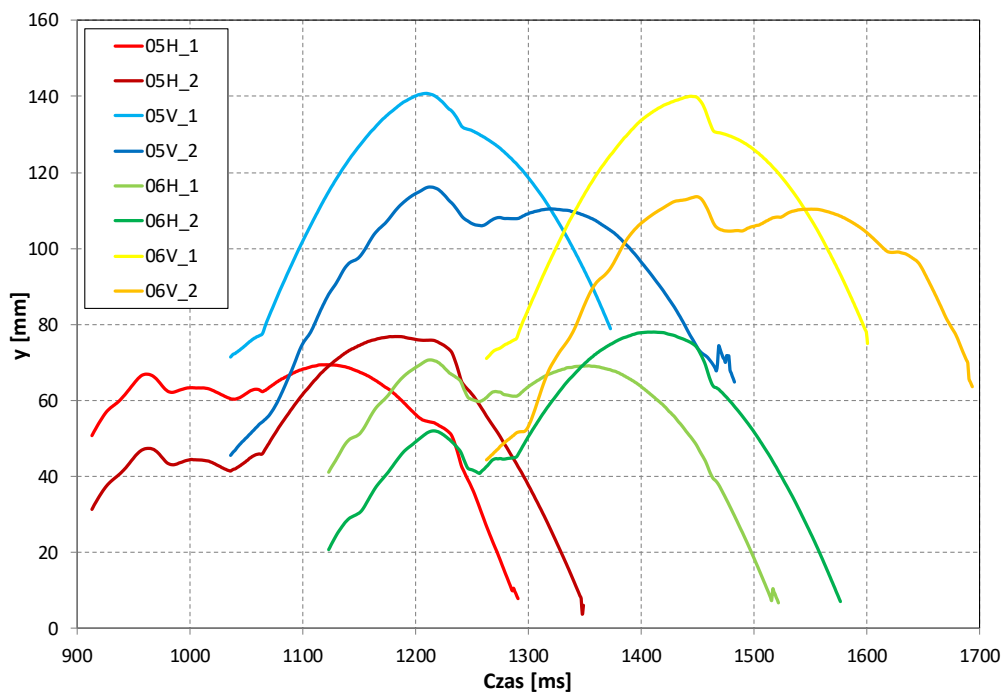
Kolejność wchodzenia w pole widzenia kamery, a tym samym kolejność wchodzenia w zazębienie tych dwóch par ogniw na przebiegu czasowym przedstawiają położenia współrzędnej pionowej y znaczników ogniw poziomych (05H 1, 05H 2 i 06H 1, 06H 2) oraz

następujących po nich ogniów pionowych (05V 1, 05V 2 i 06V 1, 06V 2) zaprezentowano na rysunku 2.6.

Rejestracja i analiza przebiegu zazębienia łańcucha ogniowego o zwiększonej podziałce ogniów z bębnem o dużym stopniu zużycia potwierdziła występowanie poślizgu wszystkich ogniów poziomych wchodzących w zazębienie na flankach zębów w stronę den gniazd.



Rys. 2.5 Trajektorie znaczników na dwóch kolejnych parach ogniów w układzie x-y



Rys. 2.6 Przebieg czasowy zmiany współrzędnej y znaczników dwóch kolejnych par ogniów

PODSUMOWANIE

Wchodzeniu ogniw łańcucha w zazębienie z segmentami zębów bębna oraz wyzębieniu ogniw w warunkach poślizgu ogniw na flance zęba towarzyszą znaczące siły nacisku i tarcia, mające decydujący wpływ na zużycie segmentów zębów i den gniazd bębna. Zużycie den gniazd i flanki roboczej zębów bębna łańcuchowego oraz wydłużenie podziałki łańcucha zmienia relacje geometryczne decydujące o położeniu ogniw w gniazdach bębna. W badanym przenośniku wyposażonym w łańcuch zgrzebłowy i bęben łańcuchowy wycofany z eksploatacji ze względu na duży stopień zużycia, zarejestrowano za pomocą kamer szybkich zmianę położenia ogniw łańcucha podczas ich nabiegania na bęben. Program komputerowy TEMA MOTION 2D, którego użyto do analizy ruchu pozwolił na automatyczne śledzenie zdefiniowanych punktów na bębnie oraz ogniwach poziomych i pionowych łańcucha. Podstawowym wynikiem takiej analizy są zbiory punktów określających trajektorię każdego punktu orientacyjnego w kartezjańskim układzie odniesienia z możliwością naniesienia trajektorii ruchu punktów na obraz filmu. Przeprowadzone badania pozwoliły na zobrazowanie przebiegu wchodzenia ogniwa poziomego w zazębienie z flanką zęba i poślizgu torusa tylnego ogniwa po flance zęba w stronę dna gniazda.

Rejestracja i analiza przebiegu zazębienia łańcucha o zwiększonej podziałce ogniw z bębniem o obniżonych dnach gniazd i zwiększonych kątach nachylenia roboczej flanki zęba do dna gniazda, potwierdziła występowanie poślizgu wszystkich ogniw poziomych wchodzących w zazębienie na roboczych flankach zębów w stronę den gniazd.

LITERATURA

1. M. Dolipski, E. Remiorz, P. Sobota, J. Osadnik. „Wpływ zwiększenia podziałki łańcucha na położenie jego ogniw w gniazdach bębniów łańcuchowych”. *Wiadomości Górnicze*, vol. 61, pp. 549-554, wrzesień 2010.
2. M. Dolipski, E. Remiorz, P. Sobota, J. Osadnik. „Komputerowe badania wpływu zużycia den gniazd i flanki zębów bębna na położenie ogniw w gniazdach bębna łańcuchowego”. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, vol. 49, pp. 15-22, kwiecień 2011.
3. M. Dolipski, S. Mikuła, E. Remiorz, P. Sobota. „Wytyczne do prawidłowej eksploatacji bębniów łańcuchowych w ścianowych przenośnikach zgrzebłowych”. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, vol. 50, pp. 15-24, grudzień 2012.
4. T. Giza, R. Mann. „Formy zużycia bębniów łańcuchowych ścianowych przenośników zgrzebłowych”. *Międzynarodowa Konferencja Techniki Urabiania „TUR 2011”*, 2011, pp. 430-438.
5. K. Kotwica, K. Furmanik, B. Scherf. „Wpływ warunków pracy na zużycie i trwałość cięgien łańcuchowych zgrzebłowych przenośników ścianowych w wybranych kopalniach węgla kamiennego”. *Międzynarodowa Konferencja Techniki Urabiania „TUR 2011”*, 2011, pp. 397-408.
6. P. Sobota. „Determination of the friction work of a link chain interworking with a sprocket drum”. *Archives of Mining Sciences*, vol. 58, issue 3, pp. 805-822, 2013.

Data przesłania artykułu do Redakcji: 12.2017

Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 02.2018

DOŚWIADCZALNE BADANIA POŁOŻENIA OGNIW NA BĘBNIE ŁAŃCUCHOWYM
O DUŻYM STOPNIU ZUŻYCIA

Streszczenie: Aby sprostać wymaganiom współczesnego górnictwa węglowego, konstruuje się ścianowe przenośniki zgrzebłowe o coraz większych mocach napędów, większych prędkościach łańcuchów zgrzebłowych, większych masach i wielkościach łańcuchów ogniowych i zgrzebeł. Wchodzeniu ogniów łańcucha w zazębienie z segmentami zębów bębna oraz wyzębieniu ogniów w warunkach poślizgu ogniów na flance zęba towarzyszą znaczące siły nacisku i tarcia, mające decydujący wpływ na zużycie segmentów zębów i den gniazd bębna. Zużycie elementów bębna łańcuchowego i wydłużenie podziałki łańcucha zmienia relacje geometryczne decydujące o położeniu ogniów w gniazdach bębna. W badanym przenośniku wyposażonym w łańcuch zgrzebłowy i bęben łańcuchowy wycofany z eksploatacji ze względu na duży stopień zużycia, zarejestrowano za pomocą kamer szybkich zmianę położenia ogniów łańcucha podczas ich nabiegania na bęben. Rejestracja i analiza przebiegu zazębienia łańcucha z bębniem potwierdziła występowanie poślizgu wszystkich ogniów poziomych wchodzących w zazębienie na flankach zębów w stronę den gniazd.

Słowa kluczowe: ścianowy przenośnik zgrzebłowy, bęben łańcuchowy, zużycie, pomiary

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE LOCATION OF LINKS
ON THE CHAIN DRUM WITH A HIGH DEGREE OF WEAR

Abstract: In order to meet the requirements of modern coal mining, scraper conveyors with increasingly higher drive powers, higher speeds of scraper chains, larger masses and sizes of link chains and scrapers are constructed. Entering the chain links in engagement with the drum teeth segments and disengaging the links in the slip of the links on the tooth flank is accompanied by significant pressure and friction forces having a decisive impact on the wear of the tooth segments and the bottoms of the drum seats. The wear of the chain drum components and the extension of the chain pitch change the geometrical relations that determine the location of the links in the drum seats. In the tested conveyor equipped with a scraping chain and a chain drum withdraw from operation due to a high degree of wear, quick change of the position of the chain links during their running on the drum was registered by speed cameras. Registration and analysis of the chain-to-drum connection process confirmed the occurrence of slip of all horizontal links coming into engagement with the flanks of the teeth towards the bottoms of the drum seats.

Key words: longwall scraper conveyor, chain drum, wear, measurements

dr inż. Piotr Sobota
Politechnika Śląska
Wydział Górnictwa i Geologii
Katedra Mechanizacji
i Robotyzacji Górnictwa
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice, Polska
e-mail: Piotr.Sobota@polsl.pl

dr inż. Rajmund Mann
Politechnika Śląska
Wydział Górnictwa i Geologii
Katedra Mechanizacji
i Robotyzacji Górnictwa
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice, Polska
e-mail: Rajmund.Mann@polsl.pl

mgr inż. Anna Bujnowska
Politechnika Śląska
Wydział Górnictwa i Geologii
Katedra Mechanizacji
i Robotyzacji Górnictwa
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice, Polska
e-mail: Anna.Bujnowska@polsl.pl