

*identyfikacja strugi urobku,
wydajność chwilowa, chwilowy pobór prądu,
układy napędowe, warunki eksploatacyjne*

Robert KRÓL*, Radosław ZIMROZ*

ANALIZA ZMIENNYCH WARUNKÓW EKSPLOATACYJNYCH NA POTRZEBY DIAGNOSTYKI TECHNICZNEJ UKŁADÓW NAPĘDOWYCH

Wpłynęło 12 maja 2010 r., zaakceptowano 19 maja 2010 r.

W artykule przedstawiono metody identyfikacji strugi urobku transportowanej przenośnikami taśmowymi stosowanymi w podziemnych kopalniach rud miedzi. Wykorzystano do tego celu funkcjonujące w kopalni systemy monitorowania prądów pobieranych przez silniki oraz system rejestrujący wydajność chwilową. Wykazano istnienie zmienności obciążeń o dużym zakresie, co ma bezpośredni wpływ na proces diagnozowania układów napędowych tych przenośników.

1. WPROWADZENIE

Przenośniki taśmowe w polskim górnictwie zarówno odkrywkowym jak i podziemnym są podstawowym środkiem transportu urobku. Pomimo wielu zalet takiego rozwiązania, eksploatacja przenośników taśmowych, zwłaszcza w warunkach kopalni podziemnej o złożonym układzie transportowym i długiej odstawie, wiąże się z występowaniem wielu problemów. Z analiz prowadzonych w kopalniach udział kosztów transportu przenośnikowego waha się w zależności od typu kopalni i długości dróg transportowych od 12–25% technicznego kosztu wydobycia. Stąd konieczne staje się poszukiwanie możliwości (metody, procedury, rozwiązania konstrukcyjne i technologiczne) zwiększenia efektywności ekonomicznej i energetycznej, których zastosowanie pozwoli radykalnie ograniczyć koszty zużycia energii oraz eksploatacji poszczególnych podzespołów przenośnika taśmowego.

* Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii Górnictwa i Geologii, Instytut Górnictwa, pl. Teatralny 2, 50-051 Wrocław.

Podstawą racjonalnej gospodarki układów napędowych jest implementacja metod pomiarowych umożliwiających wykrywanie wczesnych stadiów kluczowych uszkodzeń podzespołów, dzięki czemu służby utrzymania ruchu mogą podejmować decyzje oparte na bieżącej identyfikacji stanu technicznego. Coraz częściej w polskim górnictwie wdrażane są metody diagnostyczne mające na celu pozyskanie informacji o stanie technicznym w czasie eksploatacji maszyny i podjęcie decyzji o naprawie, demontażu na podstawie informacji o faktycznym stanie obiektu [1]. O ile metody diagnostyczne dla stałych warunków eksploatacyjnych są już dobrze rozpoznane i zaimplementowane w wielu komercyjnych rozwiązaniach, diagnostyka maszyn (w szczególności górniczych) pracujących w zmiennych warunkach jest ciągle zadaniem trudnym. Szczególnie w przypadku odstawy mieszanej, tj. zawierającej elementy transportu cyklicznego oraz ciągłego. Przy tak skomplikowanej strukturze układu transportowego, jaka występuje np. w podziemnych kopalniach rud miedzi, zagadnienie zmienności warunków eksploatacyjnych i ich wpływu na postać sygnału drganiowego oraz na proces diagnozowania jest kluczowe i wymaga identyfikacji.

2. PRZYCZYNY ZMIENNOŚCI OBCIĄŻEŃ PRZENOŚNIKA TAŚMOWEGO

Przyczyny zmienności chwilowego obciążenia układu przenośnika taśmowego zależą od wielu czynników:

- miejsca pracy i wymiaru wyrobisk (kopalnia podziemna);
- własności urobku (rys. 2.1), do których należą: rodzaj urobku, granulacja i maksymalny wymiar brył, kształt i charakter ziarna (np. ostre krawędzie), gęstość w stanie rozluźowanym oraz stan powierzchni brył (sucha, wilgotna, klejąca się, mokra);
- wydajności, tj. wydajności średniej, wydajności szczytowej i liczby godzin (lub zmian) pracy;
- minimalnej lub wskazanej (np. ze względu na typizację) szerokości taśmy;
- maksymalnej lub wskazanej prędkości taśmy;
- odległość transportu oraz profilu trasy;
- sposób podparcia trasy (wsparta na spągu lub podwieszona pod stropem; stacjonarna, przesuwna, samojezdna) oraz własności spągu;
- miejsce załadowania przenośnika (np. na stacji zwrotnej, na trasie);
- urządzenia podającego urobek (np. podajnik, bezpośrednio ze zbiornika);
- sposób odbioru urobku (następny przenośnik, zasobnik, wóz kopalniany itp.);
- zastosowania wózków pomocniczych (np. wózki zrzutowe, stół załadowniczy);
- zasilania: w przypadku napędu elektrycznego, napięcia zasilania, rodzaju prądu; w przypadku napędu pneumatycznego: ciśnienia roboczego;
- wymaganych zabezpieczeń i zakresu stosowanej automatyki;
- specjalnych wymagań wynikających ze współpracy przenośników z systemem transportowym;
- warunków klimatycznych (temperatury, wilgoci, agresywności wód).



Rys. 2.1. Przykładowe strugi urobku o różnym stopniu granulacji na przenośniku B-1200
 Fig. 2.1. Example of bulk stream with different material granulation on conveyor B-1200

2.1. PRZENOŚNIKI Odstawy Oddziałowej

Przenośniki oddziałowe zabudowane są w rejonach oddziałów wydobywczych i stanowią pierwszy etap odstawy urobku bezpośrednio urobionej rudy z wozów odstawczych na kraty rozładawcze. Zabudowane bezpośrednio pod kratami (pośrednio pomiędzy kratą a przenośnikiem zabudowany jest kosz zasypowy) spełniają rolę transportową do przenośnika odstawy głównej (rys. 2.2).

a)



b)



Rys. 2.2. Etap przekazywania urobku z systemu cyklicznego na ciągły:

a) kraty z pracującą maszyną typu Roxon, b) kosz zasypowy

Fig. 2.2. Transfer point from cyclic to continuous transportation systems:

a) hydraulic hammer working above the screen on the transfer chute b) transfer chute

Przenośniki oddziałowe są krótsze od przenośników odstawy głównej. W zależności od sposobu transportu urobku do skipu, tj. odstawy transportem kolejowym czy taśmociągiem, uzależnione są również metody pracy obsługi przenośników w rejonach oddziałów wydobywczych:

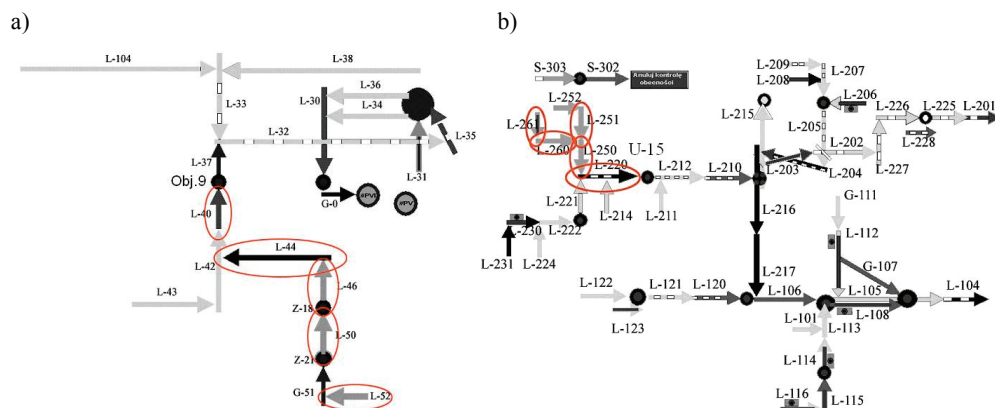
- a) przy transporcie kolejowym załadunek urobku odbywa się pod zbiornikami retencyjnymi. W przypadku braku wolnych wozów obsługa stacji załadowniczych oddziału przewoźnika konsultuje z dysponentem oddziału taśmowego decyduje o przełączeniu przesypu z ustawienia sypania do zbiornika retencyjnego na „przekazanie urobku” na przenośnik, który ma możliwość odstawy urobku w inne miejsce, tj. inny zbiornik retencyjny lub bezpośrednio na taśmociąg, którym urobek transportowany jest na podszybie,
- b) przy zastosowaniu tylko odstawy taśmowej dysponent oddziału taśmowego ma możliwość prowadzenia regulacji przepływu strugi urobku, tak że są zasypywane zbiorniki oddziałowe lub musi nastąpić zatrzymanie przenośnika. Jednak zatrzymanie wiąże się z problemami związanymi z rozruchem wypełnionej urobkiem taśmy (wzrost oporu ruchu i siły w taśmie) i jest stosowane rzadko.

2.2. PRZENOŚNIKI PRZEZNACZONE DO ODSTAWY GŁÓWNEJ

Zadaniem przenośników taśmowych odstawy głównej jest przetransportowanie urobku z oddziałowych stacji załadowniczych do zbiorników zasobniczych na podszybiu. Są napędzane układem dwóch lub czterech silników o mocach napędowych 160 kW, wyposażone w środki łagodnego rozruchu tj. przemienniki częstotliwości lub sprzęgła hydrokinetyczne. W kopalniach KGHM Polska Miedź stosowane są przenośniki typu: LEGMET 1200 i GWAREK. Taśmociągi odstawy głównej zasilane są na wiele sposobów. Przenośniki zbiorcze odbierają urobek, który może być przekazywany np. dwoma przenośnikami oddziałowymi za pomocą zsuwni. Inne warianty zasilania wykorzystują zbiorniki retencyjne z dozownikiem urobku lub przesypem hydraulicznym. Przy takich rozwiązaniach, przyczyn występowania przerw w ciągłości strugi należy upatrywać m.in. w:

- blokowaniu się urobku w zbiornikach (nadmierna wilgotności, wielkość brył, elementy metalowe, np. żerdź obudowy kotwiowej)
- zmniejszeniu prześwitu przy szufladach podających nosiwo (np. oblepienie części szuflady i ścianek podajnika wilgotnym urobkiem),
- wadliwym funkcjonowaniem napędu podajnika (np. zmieniająca się jego prędkość i obniżenie niezawodności przez oblepienie błotem i zacieraniem),
- brakiem urobku powodowanym awariami maszyn odstawiających urobek oraz innych przenośników taśmowych,
- niewłaściwym ustawieniem zsuwni (zbyt mały kąt spowoduje blokowanie urobku co z kolei ogranicza przesyp na taśmę),
- stopniu wypełnienia zbiorników retencyjnych.

Analizując w pracy [2] układ rozmieszczenia tras przenośników i źródła podawania urobku, okazało się, że nie bez znaczenia dla odnotowanych czasów postoju jest właśnie brak odbioru. W przypadku rejonu Polkowice Zachodnie (oddział T-36), postój przenośników zaznaczonych na rysunku 2.3a. czerwoną obwolutą uzależniony jest od stopnia wypełnienia zbiorników retencyjnych Z-21, Z-18, oraz Obj. 9, które znajdują się na ich trasie tworząc w ten sposób tamowanie przepływu strugi. Występuję tu spiętrzenie urobku pochodzące jednocześnie z trzech oddziałów górniczych G-30, G-32, G-33. Podobnie wyglądał ciąg przenośników w rejonie SG (T-60), z ostatnim przenośnikiem zbiorczym L-220 (rys. 2.3b).



Rys. 2.3. Lokalizacja przenośników eksploatacyjnych w oddziałach: a) T-36, b) T-60
Fig. 2.3. Layout of conveyors network used in departments: a) T-36, b) T-60

Tutaj również niezachowanie ciągłości odstawy mogło być spowodowane pełnym stanem zbiornika U-15, do którego transportowany jest urobek pochodzący jednocześnie z trzech oddziałów wydobywczych. Ograniczeń czasów postoju ww. przenośników można szukać przez zastosowanie retencji na taśmie poprzez regulację prędkości (zmniejszenie) w przenośnikach odbierających urobek ze zbiorników. Alternatywą dla takiego rozwiązania jest zwiększenie pojemności istniejących zbiorników lub zainstalowanie nowych w miejscach, w których występuję spiętrzenie strugi urobku. Jednak rozwiązanie to wymaga poniesienia zdecydowanie większych nakładów finansowych.

3. IDENTYFIKACJA WARUNKÓW EKSPLOATACYJNYCH

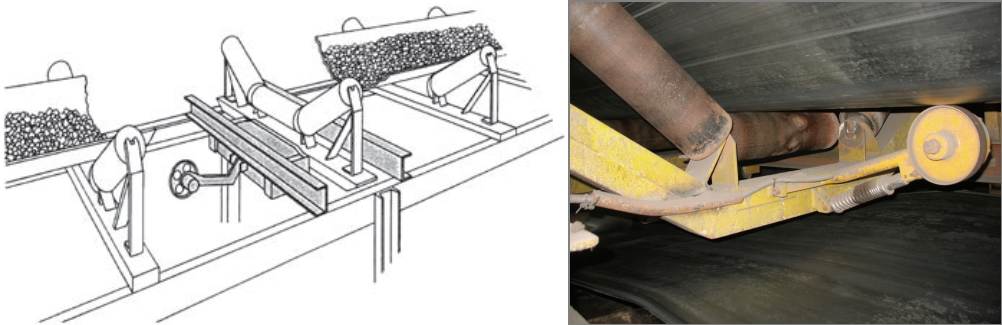
Jak przedstawiono w pkt. 2, charakter załadowania przenośnika ściśle związana jest ze sposobem pracy i właściwym doбором współpracujących ze sobą maszyn i urządzeń podających strugę urobku. Pomimo stosowania zbiorników retencyjnych czy innych nowoczesnych rozwiązań stacji załadowniczych, rozkład strugi urobku może wykazywać

dużą nierównomierność. Mamy wtedy do czynienia z typowym przebiegiem losowym, charakteryzującym się częstymi zmianami. Zmienne obciążenia wpływają na wartość amplitudy sygnału (z różną intensywności, zależną od stanu), zmienne prędkości obrotowe zmieniają strukturę częstotliwościową sygnału diagnostycznego) ewentualna cykliczność obciążeń (jak dla koła czepakowego koparki kołowej) powoduje cykliczność zmian sygnału drganiowego, dodatkowo wzbogaca strukturę częstotliwościową, nagle skokowe zmiany obciążenia powodują impulsowe zaburzenia (zwłaszcza w przypadku przekroczonych luzów w parach kinematycznych) [3]. Wszystko to powoduje, że dla zmiennych warunków eksploatacyjnych problem diagnozowania staje się bardzo trudny, a stopień trudności zależy od charakteru zmienności obciążeń.

Do oceny wartości warunków eksploatacyjnych wykorzystane mogą być różne podejścia, bowiem w praktyce występują różne okoliczności umożliwiające (lub nie) stosowanie określonych metod. Na potrzeby realizowanego projektu wykorzystano dwie metody identyfikacji, pierwsza – z wykorzystaniem pomiaru wydajności chwilowej i druga – wykorzystując zarejestrowane chwilowe wartości pobieranego prądu (system PROMOS).

3.1. ANALIZA WYDAJNOŚCI CHWILOWEJ

Identyfikację transportowanych mas przeprowadzono w oparciu o zebrane siedmiodniowe przebiegi wydajności chwilowej dla wytypowanych przenośników odstawy głównej i oddziałowej. Do analizy przyjęto przebiegi, zebrane dla 8 przenośników (po cztery dla każdego typu odstawy). Ciągły pomiar ilości i strumienia przepływu materiału na taśmie przenośnika odbywał się za pomocą wag rolkowych (rys. 3.1).

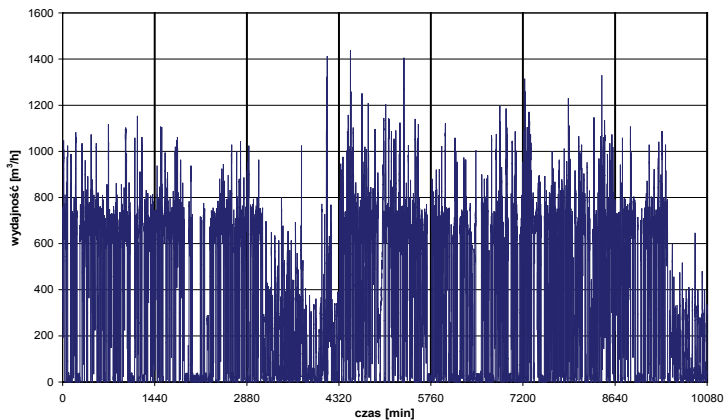


Rys. 3.1. Waga przenośnikowa typu MULTIBELT
Fig. 3.1. Weigher device MULTIBELT

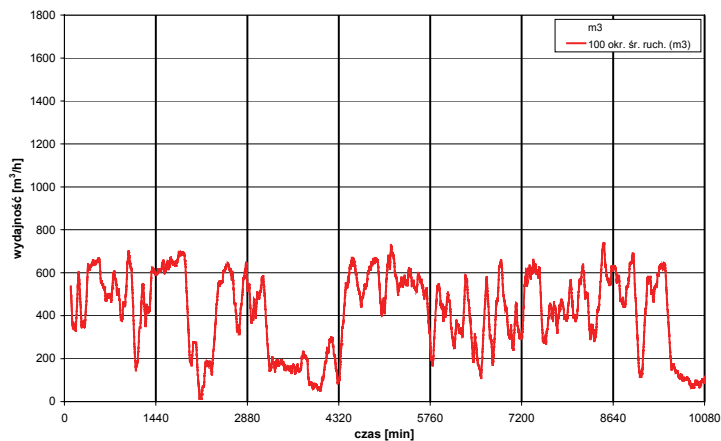
Są to urządzenia, które zostały zaprojektowane z myślą o zabudowie w istniejących taśmociągach i zapewnieniu dokładności pomiaru do $\pm 0,25\%$ względem wydajności chwilowej. Pomiar wykorzystuje tensometryczne czujniki pomiarowe, które rejestrują

masy na określonych zestawach rolkowych. Tachometr mierzy prędkość przesuwu taśmy. Iloczynem tych dwóch zmiennych jest chwilowa wydajność. Dodatkowo poprzez całkowanie chwilowej wydajności w dłuższym okresie ustala się sumaryczną ilość przeważonego materiału.

Przykładową charakterystykę zmian wydajności chwilowej w analizowanym czasie dla przenośnika odstawy głównej L-106, przedstawiono na rysunku 3.2. Z uwagi na dużą liczbę danych (częstość zarejestrowanych pomiarów wydajności 15 s), dla określenia trendu analizowanego przebiegu, wyznaczono 100-okresową średnią ruchomą.



Rys. 3.2. Przebieg wydajności chwilowej przenośnika taśmowego odstawy głównej L-106
Fig. 3.2. Instantaneous output (time series) for belt conveyor L-106



Rys. 3.3. 100-okresowa średnia ruchoma dla wydajności przenośnika taśmowego odstawy głównej L-106

Fig. 3.3. Moving Average (100 points) for Instantaneous output (time series) for belt conveyor L-106

Przenośnik taśmowy L-106 zasilany jest z dwóch źródeł. Są to: przenośnik taśmowy LEGMET 1200 o numerze L-217, oraz zbiornik U-9 z dozownikiem urobku. Na rysunku 3.2 zaobserwowano, że maksymalna wydajność przenośnika wynosi ok. 1400 m³/h, jednak pojawiając się sporadycznie, stanowi niewielki procent całej populacji zebranych danych. Zarejestrowano również niewielkie wydajności, kształtujące się w przedziale od 100 do 200 m³/h (dzień 3). Takie obniżenie stopnia wypełnienia taśmy spowodowane było ograniczeniem funkcjonowania dozownika urobku, który niejednokrotnie ulega częściowemu przyblokowaniu przez elementy stałe, pochodzące np. z obudowy kotwiowej. Dodatkowo, w celu pełnego scharakteryzowania analizowanego zbioru wartości wydajności dla poszczególnych przenośników, wyznaczono miary statystyczne odpowiadające jednodniowym okresom czasowym wraz z odchyleniem standardowym na poziomie ufności 0,95 (tabela 3.1 dla przenośnika L-106).

Tabela 3.1. Miary statystyczne wyznaczone dla przenośnika odstawy głównej L-106

Table 3.1. Basic statistical parameters obtained from analyzed time series

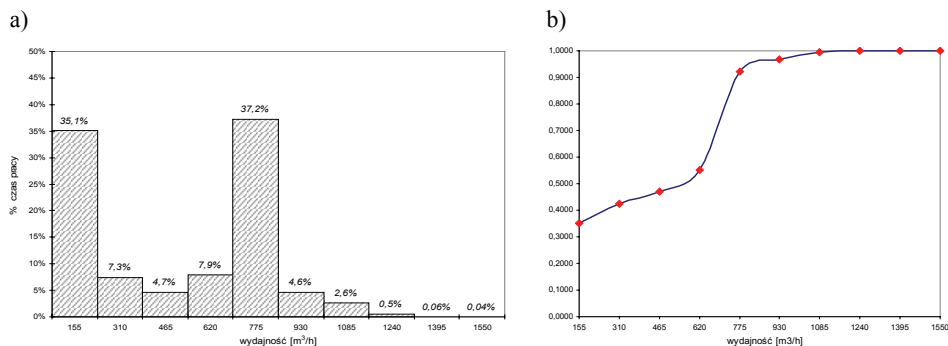
Dzień	Wartość średnia	95% przedział ufności		Mediana	Odchylenie standardowe
		granica dolna	granica górna		
1	503,16	487,50	518,83	651,76	304,86
2	455,71	438,11	472,32	640,29	323,15
3	215,03	202,43	227,62	97,05	245,13
4	544,01	528,86	559,17	651,76	294,96
5	378,83	361,40	396,27	441,47	339,35
6	488,64	471,21	506,08	641,17	339,26
7	332,40	316,35	348,45	237,35	312,32

Tabela 3.2. Tablica danych statystycznych dla przenośnika taśmowego L-106

Table 3.2. Results of statistical analysis for conveyor L-106

Lp.	Przedziały ΔV_i	Liczebność Δn_i	$f(\Delta V_i)$	$F(\Delta V_i)$
1	155	3543	0,351488	0,3515
2	310	739	0,073313	0,4248
3	465	469	0,046528	0,4713
4	620	796	0,078968	0,5503
5	775	3746	0,371627	0,9219
6	930	461	0,045734	0,9677
7	1085	261	0,025893	0,9936
8	1240	55	0,005456	0,9990
9	1395	6	0,000595	0,9996
10	1550	4	0,000397	1,0000

Następnie zgrupowano dane w odpowiednich przedziałach szeregu rozdzielczego. Przedziały dobierano tak, aby podstawowe cechy rozkładu zostały wydzielone, a przypadkowe odchylenia wygładzone. W analizie wyznaczono kolejno: licznosc występowania chwilowej wydajności w i -tym przedziale liczbowym, częstość trafienia badanej zmiennej losowej do i -tego przedziału oraz dystrybuantę empiryczną w i -tym przedziale liczbowym [4]. Zestawienie uporządkowanych danych statystycznych dla przykładowego przenośnika L-106 zawarto w tabeli 3.2 a graficzne przedstawienie danych tam zawartych na rysunku 3.4.



Rys. 3.4. Przedstawienie graficzne danych dla L-106: a) histogram, b) wykres dystrybuanty empirycznej
Fig. 3.4. Graphical presentation of the data: a) histogram of time series, b) empirical distribution function

Powyższą metodykę identyfikacji zaadoptowano również dla pozostałych poddanych analizie przenośników [5]. Uzyskane charakterystyki niezawodnościowe dla całej grupy przenośników wykazały, że proces określający zmienność natężenia przepływu urobku składa się z dwóch procesów podstawowych, z których pierwszy osiąga maksimum w pobliżu wydajności równej zero a drugi przyjmuje maksimum w większości wykresów na poziomie wydajności 775 [m^3/h]. Pierwsze maksimum odpowiada pracy przenośników nie załadowanych i dla zidentyfikowanej strugi urobku stanowi od 28,5% do 46,2% całkowitego czasu pracy przenośników, bez wyraźnego podziału na rodzaj stosowanej odstawy. Wszystkie analizowane przenośniki nie zachowały ciągłości w analizowanym przedziale czasowym.

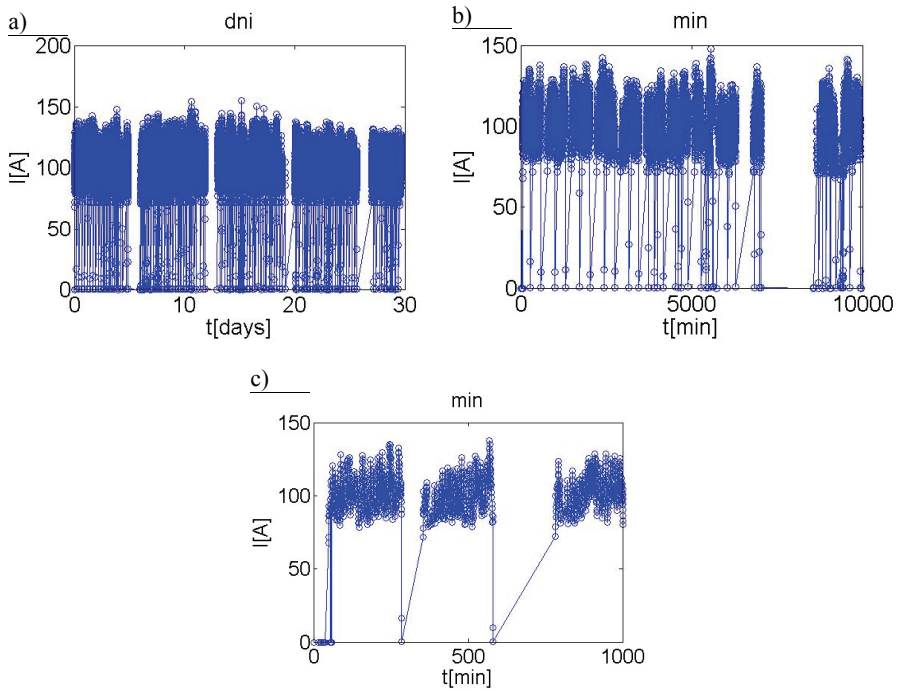
3.2. ANALIZA POBORU PRĄDU

Analizę zmienności obciążenia zrealizowano również pośrednio poprzez odczyt wartości prądu pobieranego przez układ napędowy przenośnika. Rejestracje poboru prądu przypadająca na każdy silnik jednostki napędowej odbywała się przy wykorzystaniu systemu PROMOS. Jest to system przeznaczony do sterowania rozproszonymi procesami technologicznymi, a w szczególności do automatyzacji ciągów przenośników taśmowych.



Rys. 3.5. Okno podglądu rejestracji poboru prądu na poszczególnych jednostkach napędowych przenośnika L-212

Fig. 3.5. User interface of application for electric current monitoring on the conveyor L-212

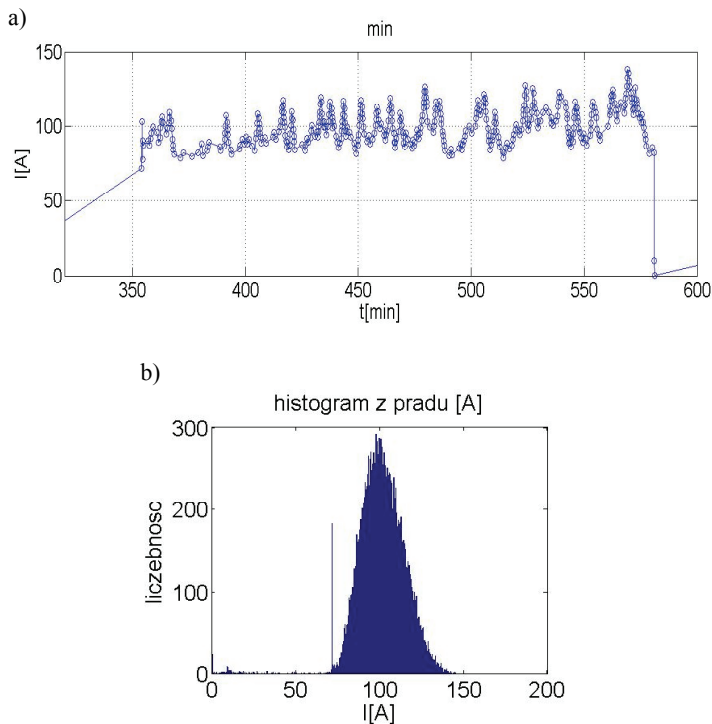


Rys. 3.6. Zmienność warunków eksploatacyjnych wyrażona przez wartość pobieranego prądu przez silnik elektryczny: a) cykl miesięczny, b) tygodniowy, c) trzy kolejne zmiany

Fig. 3.6. Variability of operating conditions expressed as instantaneous current consumed by motor for a different periods: a) month, b) week, c) three shifts

Na rysunku 3.6 przedstawiono przebiegi zmienności warunków eksploatacyjnych wyrażone przez wartość pobieranego prądu przez silnik elektryczny. Rysunek 3.6a przedstawia zmiany prądu w cyklu miesiąca, rysunek 3.6b jest charakterystyką odpowiadającą zmianom tygodniowym, a rysunek 3.6c stanowi zestawienie przebiegów prądu zebranych dla 3 kolejnych zmian. Przerwy w poborze prądu wynikają z organizacji prowadzonej eksploatacji (m.in. wolne weekendy, 6 h zmiana).

Rysunek 3.7 przedstawia zmienności dla jednej zmiany i histogram tego przebiegu wykazujący duży zakres zmienności prądu (obciążeń).



Rys. 3.7. Zmiany prądu na silniku:

a) przebieg zmienności dla jednej zmiany b) histogram na podstawie rysunku a)

Fig. 3.7. Variation of current consumed by electric motor

a) time series for one shift, b) histogram based on figure 8a)

4. WNIOSKI

1. W pracy wykazano istnienie zmienności obciążeń występujących w czasie eksploatacji przenośnika taśmowego. Przedstawiono przykładowe wyniki analiz sygnałów pomocniczych, które proponowane są do identyfikacji zmienności

warunków eksploatacyjnych na potrzeby diagnostyki technicznej układów napędowych.

2. Analiza zarejestrowanych przebiegów wydajności chwilowej w czasie wykazała, że odstawa odbywa się w sposób nierównomierny, nie zachowując przy tym ciągłość strugi urobku. W czterech z ośmiu analizowanych przenośników zaobserwowano spadki wydajności chwilowej sięgające wartości poniżej 200 m³/h i trwające do 40% analizowanego czasu pracy.
3. Zaobserwowano, że przebiegi wydajności chwilowej dla wszystkich analizowanych przenośników były do siebie zbliżone, nie wykazując tym samym jednoznacznego podziału na przenośniki oddziałowe i główne.

PODZIĘKOWANIA

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010–2013 jako projekt badawczy.

LITERATURA

- [1] BARTELMUS W., *Diagnostyka maszyn górniczych*, Górnictwo Odkrywkowe, Wyd. Śląsk, 1998.
- [2] KRÓL R., ZIMROZ R., GŁADYSIEWICZ L., BARTELMUS W., *Opracowanie metody zarządzania diagnostycznego parku maszynowego ciągłego systemu transportowego w kopalni O/ZG Polkowice-Sieroszowice – Analiza awaryjności systemu transportowego (etap 1)*, Raport Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, Seria SPR nr 07/2010 (niepublikowana).
- [3] BARTELMUS W., ZIMROZ R., *Identyfikacja warunków eksploatacyjnych na potrzeby diagnostyki przekładni planetarnej do napędu koła czerpakowego*, Diagnostyka (Warszawa), 2006, nr 1, s. 151–158.
- [4] MIGDAŁSKI J., *Poradnik niezawodności. Podstawy matematyczne*, Wydawnictwo przemysłu maszynowego „Wema”, Warszawa, 1982.
- [5] KRÓL R., GŁADYSIEWICZ L., WAJDA A., HARDYGÓRA M., *Przenośnik taśmowy o zwiększonej efektywności ekonomicznej i energetycznej zbudowany i eksploatowany wg zasad zrównoważonego rozwoju – Wyznaczenie zakresu obciążeń roboczych oraz wymagań trwałościowych dla określonego obszaru zastosowania (etap 5)*, Raport Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, Seria SPR nr 14/2010 (niepublikowana).

ANALYSIS OF NON-STATIONARY OPERATING CONDITIONS FOR DIAGNOSTICS OF DRIVE UNITS ELEMENTS USED IN BELT CONVEYOR

The paper deals with a problem of the identification of non-stationary operating conditions for belt conveyor condition monitoring working in underground copper ore mine reality. As a source data instantaneous output and instantaneous current consumed by electric motor have been used. These data have been taken from existing monitoring systems. It has been shown that in mixed, cyclic-continues transportation system, instantaneous load is a nonstationary process with wide range of variation. Before performing diagnosis, this variability has to be identified and described, for example by statistical analysis as proposed in the paper.