

# Nowoczesne metody badań diagnostycznych maszyn górniczych z wykorzystaniem programu DIAGNOPRZEM

Zygmunt Szymański

## 1. Wstęp

W polskich kopalniach węgla kamiennego stosowane są systemy eksploatacji oparte na wysokiej koncentracji wydobycia. Wymaga to stosowania wydajnych maszyn urabiających oraz niezawodnych systemów transportowych: transportu poziomego oraz transportu pionowego. Dla zapewnienia ciągłości wydobycia węgla należy zastosować dyspozytorskie systemy monitorowania, nowoczesne układy: sterowania, zabezpieczeń oraz diagnostyki maszyn urabiających oraz maszyn transportu poziomego (przenośniki zgrzeblowe oraz taśmowe). Zapewniają one realizację złożonych algorytmów sterowania, transmisję danych oraz ich archiwizację, a także wizualizację realizowanych procesów i wyników obliczeń. Nowoczesne układy sterowania pracą kopalni powinny uwzględniać w sposób globalny pracę wszystkich układów napędowych maszyn górniczych pod względem płynności odstawy urobku, niezawodności oraz energooszczędności. Dlatego celowy wydaje się zastosowanie sterowania wielokryterialnego do sterowania pracą zespołów maszyn górniczych oraz predykcyjnej diagnostyki ewentualnych stanów awaryjnych. W artykule przedstawiono modele matematyczno-fizyczne maszyny górniczej jako obiektu sterowania oraz obiektu badań diagnostycznych. Przedstawiono nowoczesne czujniki i przetworniki pomiarowe oraz komputerowe metody analizy danych. Opisano program komputerowy Diagnoprzem oraz przykłady jego zastosowania w badaniach diagnostycznych maszyn górniczych

Wyniki badań eksploatacyjnych oraz oceny stanów technicznych potwierdziły przydatność opracowanych metod sterowania i diagnostyki w przemyśle wydobywczym oraz w układach napędowych różnych ciągów technicznych i technologicznych stosowanych na liniach produkcyjnych

## 2. Modele matematyczne i fizyczne maszyn górniczych

System transportu urobku podziemnego zakładu górniczego jest to uporządkowany wewnętrznie zbiór obiektów znajdujących się na powierzchni i w podziemiach kopalni, wraz z relacjami istniejącymi między obiektami oraz ich właściwościami, którego działanie jest podporządkowane osiągnięciu założonego celu transportowego [1]. W skład systemu transportu wchodzi zadania przewozowe: urobku, osób i materiałów, oraz wszystkie procesy związane z przeładunkiem, składowaniem i magazynowaniem przewożonych materiałów. Na wyniki pracy systemu transportu mają także wpływ procesy zachodzące w obiektach tworzących dany system oraz w jego otoczeniu. Do otoczenia systemu transportu zalicza się: system wydobywczy,

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono modele matematyczno-fizyczne maszyny górniczej jako obiektu badań diagnostycznych. Przedstawiono nowoczesne czujniki i przetworniki pomiarowe oraz komputerowe metody analizy danych. Opisano program komputerowy Diagnoprzem oraz przykłady jego zastosowania w badaniach diagnostycznych górniczych maszyn. Wyniki badań zweryfikowano w warunkach przemysłowych.

Słowa kluczowe: badania diagnostyczne, czujniki pomiarowe, modele komputerowe.

### MODERN DIAGNOSTIC METHOD OF MINE MACHINE WITH APPLICATION OF DIAGNOPRZEM PROGRAM

**Abstract:** In the report paper presented mathematically-physical models machines mining as the object of diagnostic research were presented. Introduced Modern sensors and measuring transducers, and computer methods of the data analysis were introduced. In the report paper described the computer program Diagnoprzem and examples of their applications in research of diagnostic mining-machines were described. Results of computer simulations were verified in industrial conditions.

Key words: diagnostic research, measuring transducers, computer models.

aktualny stan rozwoju techniki, otoczenie naturalne, warunki ekonomiczne, zasady organizacji pracy, energooszczędną pracę zespołów napędowych, synchronizację dopływu urobku z pracą urządzeń transportu pionowego, zbiór obowiązujących przepisów, instrukcji i norm prawnych oraz „czynniki ludzkie”. Nowoczesny układ zasilania i sterowania maszyn i urządzeń pośredniczących w transporcie urobku powinien zapewniać: bieżącą kontrolę podstawowych parametrów eksploatacyjnych, znaczny stopień automatyzacji pracy poszczególnych urządzeń, sygnalizację stanów awaryjnych oraz ograniczoną diagnostykę stanów awaryjnych. Model matematyczny ciągu maszyn górniczych musi zapewniać: właściwy wybór struktury systemu zależny od wymagań realizowanego procesu transportowego, zastosowanie optymalnych kombinacji środków technicznych oraz metod projektowania do realizacji zadań transportowych. Model matematyczny maszyny górniczej należy rozpatrywać jako wielowymiarowy obiekt regulacji i analizować z uwzględ-

nieniem metod statystycznych [1, 2, 3]. Pracę przenośnika taśmowego przemieszczającego się po trasie o założonej konfiguracji, dla modelu z więzami nieholonomicznymi, w oparciu o równania Lagrange'a II rodzaju, przy 4 stopniach swobody oraz dla współrzędnych uogólnionych  $q_{ki}$ , można opisać przy pomocy równania (1):

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial E_K}{\partial \dot{q}_{ki}} \right) - \frac{\partial E_K}{\partial q_{ki}} = Q_{ki} \quad (1)$$

gdzie:

- $k = 1, 2, 3, 4$ , odnoszą się odpowiednio do wielkości:  $X_i, Z_i, \Phi_{X_i}, \Phi_{Z_i}$ ;
- $i = 1, 2, \dots, n$ ;
- $X_i, Z_i, \Phi_{X_i}, \Phi_{Z_i}$  – współrzędne układu odniesienia.

W modelu deterministycznym procesu odstawy urobku rozpatruje się system transportu zawierający zbiorniki akumulacyjne na stacjach przeładunkowych oraz zakłada się stochastyczny dopływ urobku ze ścian roboczych o rozkładzie zbliżonym do rozkładów: Erlanga lub normalnego [2, 3]. Zakłada się także wielkość układów transportowych, ich parametry eksploatacyjne oraz wydajności maksymalne układów wykorzystywanych w procesie odstawy urobku. Stan procesu transportu w przedziale czasu:  $k \times \Delta t$ , można opisać wektorem stanu  $X(k)$  postaci (2):

$$X(k+1) = X(k, \Delta t) \quad (2)$$

gdzie:

- $N$  – liczba jednostek transportowych;
- $z$  – liczba zbiorników załadunkowych;
- $k = 0, 1, 2, \dots, K$ ;
- $K = T/\Delta t$  – liczba kroków dyspozycyjnych;
- $T$  – czas dyspozycyjny;
- $X(k)$  – wektor stanu opisujący położenie jednostki transportowej  $S_i$  oraz wypełnienie zbiorników akumulacyjnych  $V_j$ ;

przy czym:

$$X(k) = [S_1(k), S_2(k), \dots, S_N(k), V_1(k), \dots, V_N(k)]^T$$

Zakładając, że  $\Delta l_i$  jest minimalną odległością między obiektami transportowymi, a na odcinkach z punktami przeładunkowymi w chwili czasu  $k \times \Delta t$  może znajdować się jeden środek transportu, wtedy równanie stanu procesu transportu przyjmuje postać (3):

$$X(k+1) = G[x(k), u(k)] \quad (3)$$

gdzie:

- $G = \{g_1[x(k), u(k)], \dots, g_N[x(k), u(k)], f_0[x(k), u(k)], \dots, F_z^T[x(k), u(k)]\}^T$  – wektor stanu uwzględniający sposób sterowania;
- $S_u(k+1) = g_u[x(k), u(k)], u = 1, 2, \dots, N$ ;
- $V_u(k+1) = f_u[x(k), u(k)], u = 1, 2, \dots, z$ ;
- $u(k)$  – sposób sterowania podejmowany w chwilach  $k < t$ , przy czym:  $u(k) \in U(x)$ ;
- $U(x)$  – zbiór możliwych tras przemieszczania się środków transportu.

Składowe funkcji G są wyznaczone dla poszczególnych odcinków trasy oraz rodzajów środków transportu: zbiorniki akumulacyjne, stacje przeładowcze, transport kołowy i przenośnikowy, transport pionowy. Szczegółowy sposób wyznaczania składowych funkcji G przedstawiono w [4]. W podziemiach kopalń eksploatowane są maszyny górnicze: urabiające oraz transportowe (przenośniki ścienne, przenośniki zgrzebłowe). Są one napędzane silnikami indukcyjnymi klatkowymi i zasilane z sieci trójfazowej bezpośrednio lub przez zasilacz przekształtnikowy. Maszyny te zawierają układy napędowe, w których praktycznie nie przewiduje się regulacji prędkości obrotowej, natomiast zasilacz przekształtnikowy umożliwia przeprowadzenie płynnego rozruchu. W układach zasilania maszyn górniczych stosowane są tranzystorowe lub tyrystorowe sterowniki prądu przemiennego (układy softstartu). Nowoczesne układy sterowania i diagnostyki maszyny górniczej powinny zapewniać realizację: sekwencji rozruchowych, kontrolę parametrów eksploatacyjnych przed oraz po uruchomieniu maszyny, sygnalizację stanów awaryjnych oraz wyłączenie zasilania podczas zwarć i przeciążeń. Układy sterowania powinny zapewniać sterowanie: lokalne – z tablicy sterowniczej maszyny, zdalne – wykorzystując sterowanie radiowe lub lokalne sieci komputerowe (CAN, MPI), lub sterowanie automatyczne (z komputera nadrzędnego), wykorzystując sieci transmisyjne (Profibus DP, Profinet, Ethernet lub łącza internetowe) [4, 6]. Układy diagnostyki powinny monitorować pracę maszyny górniczej, sygnalizować stany przeciążeniowe oraz wyłączać i diagnozować stany awaryjne. Komputer nadrzędny powinien posiadać: bazę danych oraz bazę wiedzy eksploatowanych maszyn górniczych, a także specjalne programy diagnostyczne i sterujące, zapewniające quasioptymalne sterowanie pracą maszyny górniczej, zgodnie z realizowanymi zadaniami wydobywczymi, przy optymalnym zużyciu energii. Funkcję celu dla quasioptymalnego sterowania pracą maszyny transportowej można sformułować w postaci wyrażenia (4):

$$\exists | U_i, f_i | I \{ W_i = opt, \eta_i \leq \eta_{max}, Q \leq Q_{max}, v = v_{max} \} \quad (4)$$

Istnieją takie parametry zasilania silników napędowych:  $U_i, f_i$ , które dla danej maszyny transportowej realizują quasioptymalne zadania transportowe:  $Q < Q_{max}$ , przy określonej prędkości przesuwu taśmy  $v = v_{max}$ , przy ograniczonym zużyciu energii:  $W = opt, \eta < \eta_{max}$ . Dynamikę przenośnika taśmowego można opisać w sposób uproszczony układem równań (5):

$$\begin{aligned} \frac{d v_i}{d t} &= \frac{1}{m_i} \left[ \frac{F_{i+1} - F_i + P(i)}{l_i} - W_i \cdot \text{sign } v_i \right] \quad \text{dla } i \in (1, k-1) \\ \frac{d F_i}{d t} &= \frac{A \cdot E}{l_{i-1}} \left[ v_i - v_{i-1} + \tau \frac{d(v_i - v_{i-1})}{d t} \right] \quad \text{dla } i \in (1, k) \end{aligned} \quad (5)$$

gdzie:

- $F_i, v_i$  – wartości chwilowe sił i prędkości przesuwu taśmy w  $i$ -tym punkcie taśmy;
- $m_i$  – jednostkowa masa zastępcza odcinka taśmy, między  $i$ -tym oraz  $i+1$  punktem taśmy;
- $W$  – zastępcze opory przenośnika;
- $A, E$  – współczynniki konstrukcyjne maszyny transportowej.

Dynamikę indukcyjnego silnika napędowego napędzającego przenośnik opisuje układ równań różniczkowych (6):

$$\begin{aligned} u_s &= R_s i_s + (L_{\delta s} + L_s) \frac{d i_s}{d t} + M_{s,w} \frac{d i_w}{d t} \\ u_w &= R_w i_w + (L_{\delta w} + L_w) \frac{d i_w}{d t} + M_{s,w} \frac{d i_s}{d t} \\ M &= \sum_{k=1}^n \left( i_{sk} M_{s,w,k} \frac{\partial}{\partial g} i_{w,k} \right) \\ M - M_{abc} &= J_z \frac{d \omega_M}{d t} \end{aligned} \quad (6)$$

gdzie:

$i_s, i_w, u_s, u_w$  – prądy i napięcia fazowe uzwojeń stojana i wirnika;  $R_s, R_w, L_s, L_w$  – rezystancje i indukcyjności własne uzwojeń stojana i wirnika;

$L_{\delta s}, L_{\delta w}$  – indukcyjności rozproszenia uzwojeń stojana i wirnika;

$M_{s,w}$  – indukcyjność wzajemna uzwojeń stojana i wirnika,

Równania (1–6) są wykorzystywane do opracowania modelu kinematycznego maszyny transportowej oraz do opracowania optymalnego sterowania pracą przenośnika. Opracowane algorytmy sterowania umożliwią realizację zadań transportowych przenośnika, przy założonej funkcji celu [2, 3]. Programy sterujące są umieszczone w pamięci komputerów sterujących: nadrzędnego oraz komputerów lokalnych. Komputer nadrzędny współpracuje z różnymi urządzeniami peryferyjnymi: moduły konfiguracji, moduły wizualizacyjne, moduły komunikacyjne, drukarki oraz z dodatkowymi komputerami, przechowującymi bazy danych wszystkich maszyn sterowanych z komputera nadrzędnego.

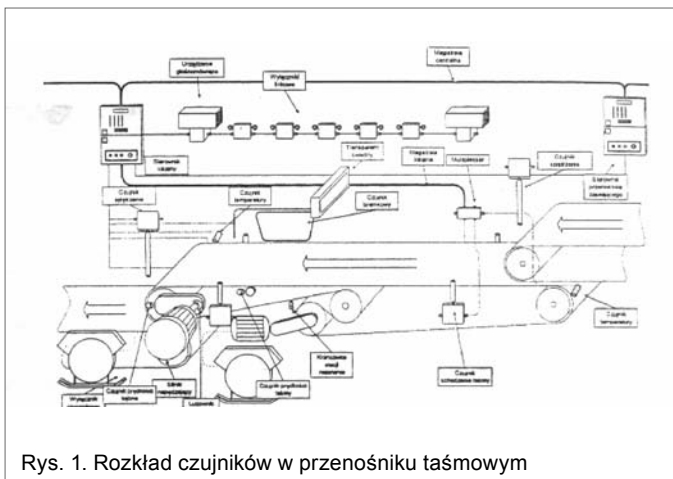
### 3. Metodyka badań diagnostycznych maszyn górniczych.

Niezawodność pracy maszyn górniczych zależy w znacznym stopniu od prawidłowej oceny stanu technicznego ich obwodów: elektrycznych, elektromechanicznych oraz mechanicznych. Ocenę można zrealizować w sposób globalny – wykorzystując centralne stanowisko diagnostyczne, lub w ograniczonym zakresie – wykorzystując elementy diagnostyczne zainstalowane w maszynie. Diagnostykę globalną powinno się przeprowadzać w sposób okresowy [1, 5, 6]. Ocena lokalna powinna być realizowana przed każdym uruchomieniem maszyny. W ramach diagnostyki lokalnej sprawdza się stan techniczny: silnika napędowego, układu zasilania, obwodów sterowania i zabezpieczeń, parametry i stan techniczny elementów transportowych: bębnow napędowych oraz taśmy przenośnika, a także ocenia się skuteczność pracy układu hamulcowego. Specjalny program symulacyjny DIAGNOPRZEM (opracowany przez autora) oraz odpowiednie czujniki i przetworniki pomiarowe umożliwiają realizację pomiarów w sposób automatyczny. Wyniki obliczeń numerycznych i symulacyjnych uzyskanych na podstawie modeli matematycznych: silników napędowych, zasilacza przekształtnikowego oraz układu mechanicznego, są prezentowane w sposób tabelaryczny i graficzny na ekranie monitora oraz drukowane w postaci protokołu badań diagnostycznych. Ocenę stanu technicznego silnika napędowego można przeprowadzić przy wykorzystaniu: wyników analizy harmonicznych napięć i prądów stojana przy zasilaniu trójfazowym i dwufazowym, analizy sygnału napięciowego indukowanego w dodatkowym uzwojeniu umieszczonym w żłobkach stojana, stosując metody wibromechaniczne albo akustyczne [1, 5, 6]. Przy bieżącej kontroli stanu technicznego silnika napędowego można ograniczyć

zakres pomiarów do pomiarów: rezystancji uzwojeń stojana, rezystancji izolacji uzwojenia stojana, kontroli stanu technicznego łożysk silnika [1, 5]. Ocenę stanu technicznego układu zasilania (tranzystorowy lub tyrystorowy falownik napięcia) przeprowadza się, sprawdzając: elementy wykonawcze, zabezpieczenia zwarciove oraz realizując programy testujące umieszczone w pamięci sterownika mikroprocesorowego (nastawy zabezpieczeń przeciążeniowych, zwarciowych, kontrola ciągłości napięć zasilających oraz obwodów sprzężeń zwrotnych). Do diagnostyki układu mechanicznego i kinematycznego przenośnika wykorzystuje się sygnały z czujników umieszczonych na przenośniku. Są to m.in. czujniki: temperatury, ruchu taśmy, spiętrzenia urobku oraz inteligentne czujniki uszkodzeń taśmy, bębnow napędowych oraz przekładni. Sygnały z czujników są przesyłane do komputera nadrzędnego magistralą komunikacyjną, gdzie są wykorzystywane zarówno do celów diagnostycznych, jak i do optymalnego sterowania pracą przenośnika.

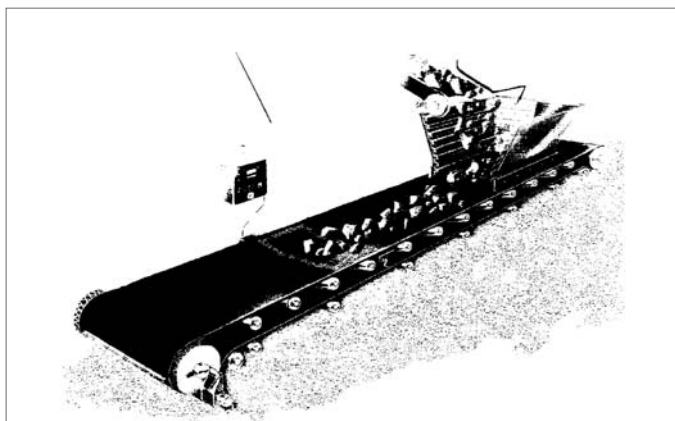
#### 4. Model dynamiczny wentylatora kopalnianego

Większość kopalń węgla kamiennego wykorzystuje do głównej odstawy urobku przenośniki taśmowe. W zależności od rodzaju przenośnika, układy napędowe muszą uwzględniać czynności związane ze skracaniem długości przenośnika oraz wstępnym napinaniem taśmy. Na rys. 1 przedstawiono przykładowe wyposażenie przenośnika typu Smartveyor [1, 5]. Układ sterowania zapewnia automatyczne napinanie taśmy, w zależności od ilości urobku. Do pomiaru ilościowej wielkości urobku stosowane są taśmowe wagi elektroniczne, natomiast do oceny jakościowej wykorzystuje się przetworniki izotopowe lub komputerową analizę obrazu z kamery przemysłowej [1, 5]. Do kontroli pracy przenośnika oraz dla celów diagnostycznych obok przenośnika są umieszczone: zespoły łączności, wyłączniki awaryjne, urządzenia zraszające, natomiast w obrębie bębna napędowego umieszczono czujniki: prędkości bębna, prędkości taśmy, temperatury, schodzenia taśmy, spiętrzenia urobku oraz bramki materiałowe. W pobliżu stacji napinającej umieszcza się czujniki krańcowe oraz czujniki siły napinającej taśmę przenośnika. Zastosowanie sterowników przemysłowych umożliwi wprowadzenie dla celów kontrolnych oraz diagnostycznych dodatkowych czujników, które będą informować o stopniu zużycia taśmy, przekładni zębatej lub o awarii: silnika, łożysk, bębna napędowego, hamulca lub taśmy. W silniku napędowym należy zastosować czujniki tem-

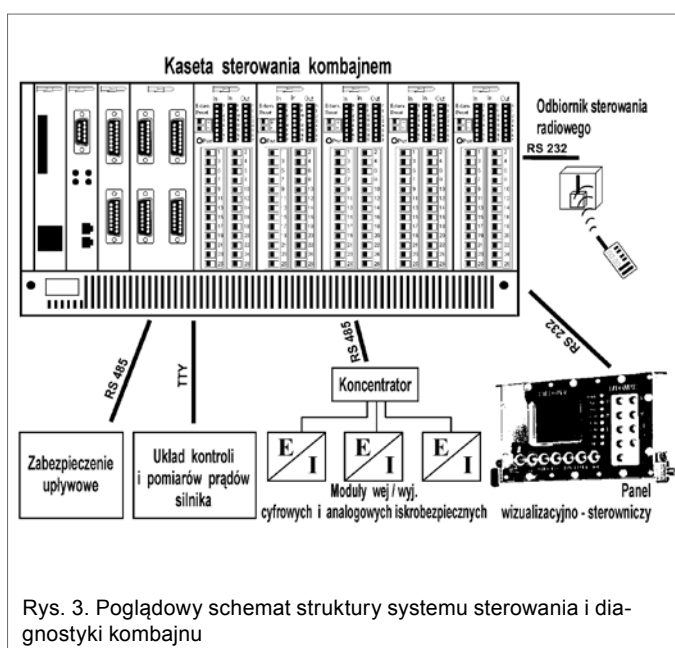


Rys. 1. Rozkład czujników w przenośniku taśmowym



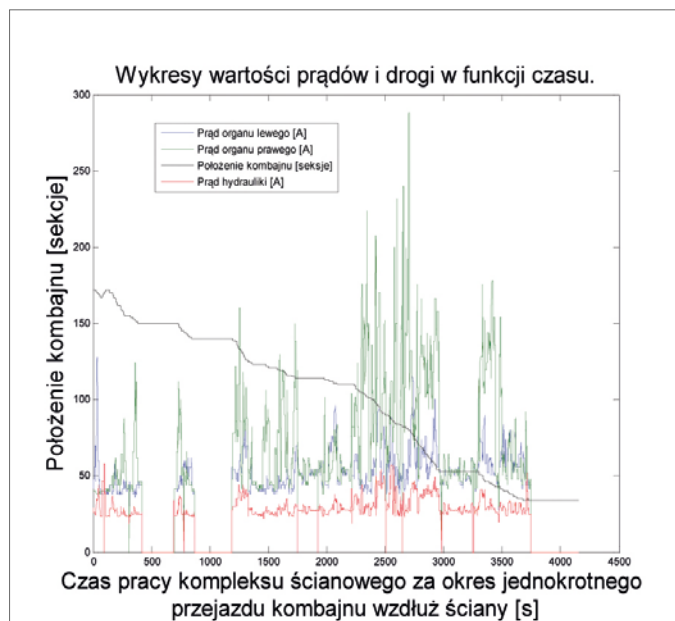


Rys. 2. Elektroniczny system zabezpieczenia taśmy przenośnika

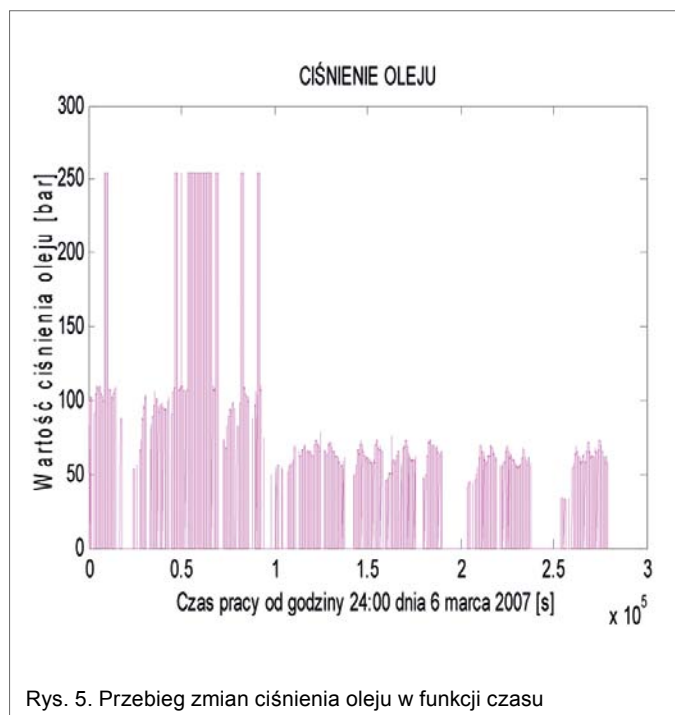


Rys. 3. Poglądowy schemat struktury systemu sterowania i diagnostyki kombajnu

peratury: uzwojeń, łożysk, medium chłodzącego, przetworniki napięcia, prądu oraz kontroli stanu izolacji. Układ zasilania powinien posiadać: przetworniki napięcia, prądu, temperatury modułów zasilacza, temperatury medium chłodzącego. Układ mechaniczny oraz układ przeniesienia napędu należy wyposażać w czujniki: zużycia okładzin ciernych hamulca, pęknięcia bębna napędowego, uszkodzenia taśmy. Dane z czujników są przesyłane do komputerów sterownika, gdzie w oparciu o bazy danych oraz bazy wiedzy, wykorzystując odpowiednie programy diagnostyczne oraz modele matematyczne: silnika oraz układu kinematycznego, podejmuje się decyzje o stanie technicznym układu oraz o trwałości i niezawodności pracy układów przenośników taśmowych. Do wykrywania uszkodzeń taśmy mogą być wykorzystywane czujniki: elektromechaniczne, magnetyczne lub elektroniczne [1, 5]. Na rys. 2 przedstawiono elektroniczny system zabezpieczenia taśmy przenośnika typu Sensor Guard [1, 6]. System ten służy do ochrony taśmy przed rozległymi uszkodzeniami (przecięcie taśmy) oraz sygnalizuje ruchy poprzeczne i nadmierny poślizg taśmy. W skład układu



Rys. 4. Wykres zmian prądu silnika i drogi kombajnu w funkcji czasu



Rys. 5. Przebieg zmian ciśnienia oleju w funkcji czasu

wchodzą: pętle przewodów implantowane w taśmie, detektor uszkodzeń oraz jednostka sterująca. Czujniki i głowice detektora są sprzężone rozkładem pola elektromagnetycznego. Jeśli nastąpi uszkodzenie taśmy, to zostanie uszkodzony czujnik, wtedy detektor wykrywa uszkodzenie i wyłącza taśmę. Innym wariantem jest czujnik elektroniczny typu Contitronic, który wymaga zastosowania taśmy z zaimplantowanymi transponderami. Szczegółowy opis czujnika przedstawiono w [5]. Do oceny zużycia, korozji oraz do wykrywania pęknięć linek stalowych stanowiących rdzeń taśmy przenośnikowej wykorzystuje

się metody magnetyczne. W skład układu wchodzi wzbudnik magnetyczny z magnesami trwałymi, czujniki indukcyjne oraz defektoskop. Uszkodzony pręt powoduje zmiany rozkładu pola magnetycznego wykrywane przez defektoskop.

Nowoczesne, inteligentne czujniki pomiarowe wymagają zmian w konstrukcji taśm przenośnikowych, co wiąże się z określonymi kosztami ekonomicznymi.

Dlatego proponuje się wprowadzić do układów diagnostycznych przenośnika układy bazujące na rozbudowanym modelu matematycznym układu elektromechanicznego przenośnika, wykorzystując możliwości obliczeniowe sterowników przemysłowych.

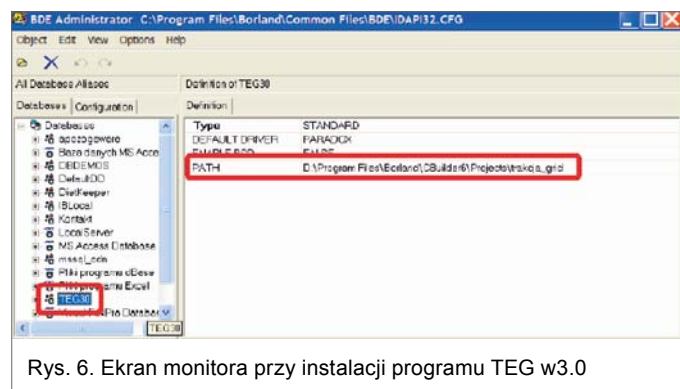
Jedną z przyczyn awarii maszyn górniczych jest awaria wężła łożyskowego. Uszkodzeniu wężła łożyskowego maszyny górniczej towarzyszy: wzrost drgań, głośnie praca, szum, wzrost temperatury uzwojeń i obudowy. Do diagnostyki wężła łożyskowego wykorzystuje się m.in. metody: SPM (*Shock Pulse Method*), SE (*Spike Energy*), SEE (*Spectral Emitted Energy*), metodę analizy częstotliwościowej, analizy akustycznej oraz metodę detekcji obwiedni. Metoda detekcji obwiedni polega na analizie drgań rezonansowych maszyny. Krótkotrwałe udary widoczne w przebiegach czasowych mierzonego sygnału maszyny mogą być spowodowane uszkodzeniem wężła łożyskowego.

Znając geometrię łożyska, ilość elementów tocznych oraz prędkość obrotowa bieżni, można obliczyć częstotliwości rezonansowe układu. Czujnik drgań jest umieszczany na badanym elemencie. Sygnał pomiarowy po filtracji w filtrach pasmowo przepustowych i dopasowaniu jest analizowany w pobliżu obli-

czonych częstotliwości rezonansowych. Transformaty Fouriera z otrzymanego sygnału widma pozwalają określić dominujące częstotliwości i określić stopień uszkodzenia. Poglądowy schemat struktury systemu sterowania i diagnostyki kombajnu przedstawiono na rys. 3. Przykładowe wyniki badań diagnostycznych wykonanych na kompleksie ścianowym w KWK przedstawiono na rys. (4 i 5). Na rys. 4 przedstawiono wykres zmian prądu silnika i drogi kombajnu w funkcji czasu, a na rys. 5 przebieg zmian ciśnienia oleju w funkcji czasu pracy kombajnu

### **5. Zastosowanie programu DIAGNOPRZEM w układach diagnostyki maszyn górniczych**

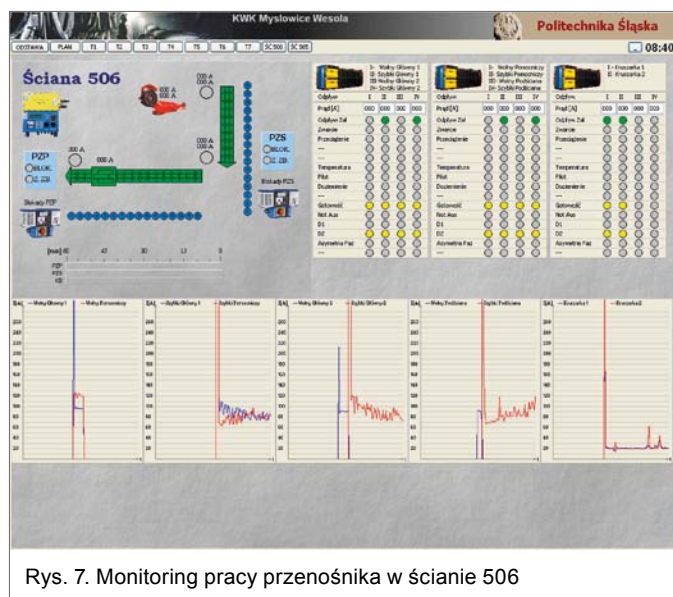
Nowoczesne układy zasilania, sterowania oraz diagnostyki maszyn i urządzeń pośredniczących w transporcie urobku powinny zapewniać: bieżącą kontrolę podstawowych parametrów eksploatacyjnych, znaczny stopień automatyzacji pracy poszczególnych urządzeń, sygnalizację stanów awaryjnych oraz ograniczoną diagnostykę stanów awaryjnych. Do projektowania i diagnostyki stanu technicznego maszyn transportu poziomego wykorzystuje się program komputerowy DIAGNOPRZEM. Instalacja programu DIAGNOPRZEM sprowadza się do przekopiowania katalogu zawierającego pliki binarne oraz bazy danych na dysk twardy docelowego komputera. Do pracy programu niezbędny jest system baz danych *Borland Database Engine* (BDE). W programie BDE Administrator (bdeadmin.exe) należy ustawić alias DIAGNOPRZEM (parametry TYPE



Rys. 6. Ekran monitora przy instalacji programu TEG w3.0

STANDARD, DEFAULTDRIVER PARADOX), opisujący (PATH) folder dysku, w którym znajdują się wykorzystywane w programie bazy danych (pliki z rozszerzeniami \*.dbf). Instalację systemu baz danych BDE wykonuje się jednokrotnie. Na rys. 1 przedstawiono sposób instalacji programu TEG.w3.0, będącego częścią składową programu DIAGNOPRZEM, do obliczeń kopalnianej trakcji elektrycznej. W skład programu DIAGNOPRZEM wchodzi także pliki do sterowania pracą kombajnu, przenośników: ścianowych, podścianowych oraz chodnikowych, a także kolejek podwieszanych

Trakcja szynowa jest wykorzystywana do: transportu urobku ze stacji załadunkowych do stacji wyładunkowych w rejonach szybów skipowych, transportu materiałów oraz przewozu załogi. W podziemiach KWK stosowany jest napęd elektryczny (trakcja przewodowa lub akumulatorowa), spalinowy lub pneumatyczny. Szyny jezdne mogą być umieszczone na podłożu lub na szpągu. Program TEG, wspomagający projektowanie trakcji szynowej w podziemnych zakładach górniczych, może być wykorzystywany do projektowania trakcji na określonych poziomach kopalni oraz do modernizacji odcinków trakcji eksploatowanych oraz likwidowanych. Program TEG v.3.0 umożliwia: określenie wielkości składu pociągu urobkowego, realizację obliczeń kinematycznych i energetycznych odcinka trakcji elektrycznej w KWK (obliczenia sieciowe, zużycie energii elektrycznej, harmonogram ruchu pociągów). Umożliwia także sporządzanie mapy torowisk na poszczególnych poziomach, z zaznaczeniem: rozjazdów, stacji zasilających, stacji za- i wyładunkowych oraz układów sygnalizacji i stref zasilania. Instalacja programu TEG sprowadza się do przekopiowania katalogu zawierającego pliki binarne oraz bazy danych na dysk twardy docelowego komputera. Do pracy programu niezbędny jest system baz danych *Borland Database Engine* (BDE). W programie BDE Administrator (bdeadmin.exe) należy ustawić alias TEG30 (parametry TYPE STANDARD, DEFAULTDRIVER PARADOX), opisujący (PATH) folder dysku, w którym znajdują się wykorzystywane w programie bazy danych (pliki z rozszerzeniami \*.dbf). Instalację systemu baz danych BDE wykonuje się jednokrotnie. Na rys. 6 przedstawiono sposób instalacji programu TEG.w3.0. Program TEG umożliwia rysowanie schematu trakcji szynowej na danym poziomie kopalni. Schemat sieci trakcyjnej jest złożony z następujących składników: elementy sieci dolnej (łuki, rozjazdy, trójkąty, obejścia kablowe), układy zasilania (stacje zasilające jedno- lub dwuodpływowe), symbole graficzne oznaczające różne rodzaje stacji (stacje załadunkowe, stacje wyładunkowe, materiałowe, osobowe), oraz odcinki trakcji (szyny + przewód jezdny), linie kablowe, komentarze (tekstów).



Rys. 7. Monitoring pracy przenośnika w ścianie 506

Poszczególne składniki numerowane są oddzielnie E1..., O1..., K1..... Elementy rozmieszczone są na siatce o polach kwadratowych. Linie oddzielające poszczególne pola są widoczne na ekranie, natomiast są niewidoczne na wydruku. Elementy zajmują jedno pole, natomiast odcinki i linie kablowe mogą zajmować więcej przylegających do siebie (poziomo lub pionowo) pól siatki.

## 6. System sterowania i diagnostyki ciągu przenośników taśmowych

System sterowania przenośników typu Dignoster jest przeznaczony jest do sterowania i sygnalizacji pracy przenośników taśmowych oraz sygnalizacji ostrzegawczej przed ich uruchomieniem. Składa się on ze sterownika centralnego oraz ze sterowników lokalnych [6]. Sterownik centralny umożliwia: wybór uprawnień dla czterech ciągów przenośników w odstawie, sterowanie automatyczne ciągów odstawy, wizualizację stanów pracy poszczególnych przenośników w ciągu, transmisję danych do systemu wizualizacji na powierzchni. Mikroprocesorowy sterownik umożliwia: wybór rodzaju pracy za pośrednictwem menu programowania użytkownika: Transport urobku lub Rewizja, wybór sterowania, sposobu uruchamiania pracy przenośnika taśmowego, emitowania sygnałów akustycznych za pośrednictwem sygnalizatorów akustycznych głośnomówiących, generowanie sygnału informującego o spieczeniu styków w aparaturze łączeniowej zasilającej napęd przenośnika, sygnału informującego o spieczeniu styków w aparaturze łączeniowej zasilającej hamulce przenośnika, kontrolę ciągłości linii w magistrali systemu łączności w trakcie trwania sygnału rozruchowego, awaryjne zatrzymanie przenośnika z dowolnego miejsca wzdłuż jego trasy, sterowanie i kontrolę załączenia aparatury łączeniowej napędu oraz aparatury łączeniowej hamulców przenośnika, dwustronną wymianę danych pomiędzy sterownikiem i sygnalizatorami akustycznymi zabudowanymi wzdłuż trasy przenośnika taśmowego, odczyt informacji o stanie czujników kontrolowanych przez Układ Kontroli Temperatury Taśmociągu (UKTT) przez układ transmisji danych,

identyfikację blokad z wykorzystaniem modułów identyfikacji blokad typu NIB-E, programowanie wybranych parametrów, rodzaju współpracujących czujników lub urządzeń oraz funkcji kontrolnych sterownika przez osoby uprawnione, tzn. znające hasło dostępu.

Na rys. 7 przedstawiono przykładowo wyniki monitorowania pracy systemu przemośników taśmowych z zaznaczeniem układu napędowego, stanu pracy oraz parametrów eksploatacyjnych.

## 7. Zakończenie

Zastosowanie sterowników przemysłowych w układach sterowania maszyn górniczych transportowych zapewnia realizację złożonych algorytmów sterowania: sterowanie energooszczędne, z możliwością bieżącej kontroli wybranych parametrów eksploatacyjnych i diagnostyki całego systemu oraz jego zespołów. Wprowadzenie sterowania rozproszonego zapewnia realizację sterowania lokalnego oraz sterowania centralnego z uwzględnieniem narzuconych priorytetów sterowania. Proponowane algorytmy sterowania oraz diagnostyki umożliwiają realizację sterowania quasioptymalnego, przy stosunkowo małych kosztach finansowych. Zastosowanie sterowania suboptymalnego w układach sterowania odstawą urobku zapewni energooszczędną, płynną odstawę urobku przy minimalizacji stanów awaryjnych. Proponowane sterowanie maszyn górniczych może być w pewnych przypadkach rozwiązaniem konkurencyjnym w stosunku do kosztownych i złożonych rozwiązań firm profesjonalnych.

reklama

## 8. Literatura

- [1] ANTONIAK J.: *Urządzenia i systemy transportu podziemnego w kopalniach*. Wyd. Śląsk, Katowice 1990.
- [2] SZYMAŃSKI Z.: *Zastosowanie metod sztucznej inteligencji do sterowania, monitorowania i diagnostyki górniczych maszyn transportowych i urabiających*. „Napędy i Sterowanie” 45/2008.
- [3] SZYMAŃSKI Z.: *Nowoczesne, energooszczędne układy zasilania górniczych maszyn urabiających i transportowych napędzanych silnikami zintegrowanymi*. „Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa” 8/2004.
- [4] SZYMAŃSKI Z.: *Zastosowanie inteligentnych sterowników przemysłowych w układach automatyzacji maszyn górniczych*. „Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa” 10/1998.
- [5] Komputery przemysłowe Promos. Dokumentacja techniczno-ruchowa, Becker Elektrotechnika, Świerklany 2009.
- [6] Instrukcje obsługi programów komputerowych DIAGNO-PRZEM oraz TEG 3.0. Gliwice 2010.

dr inż. Zygmunt Szymański – Politechnika Śląska Gliwice,  
tel. 32-237 16 88,  
e-mail: Zygmunt.Szymanski@polsl.pl

artykuł recenzowany