

**Jacek Przybyłka**

**Dąbrowska Fabryka Maszyn Elektrycznych „DAMEL” S.A., Dąbrowa Górnicza**

## **NOWOCZESNE UKŁADY NAPĘDOWE PRODUKCJI DFME „DAMEL” S.A. PRZEZNACZONE DO PRACY W STREFACH ZAGROŻONYCH WYBUCHEM Z MOŻLIWOŚCIĄ REGULACJI PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ I MONITOROWANIA PRACY NAPĘDU**

### **MODERN POWER TRANSMISSION SYSTEMS MANUFACTURED BY DFME “DAMEL” INTENDED FOR OPERATION AT THE ZONES EXPOSED TO EXPLOSION HAZARD WITH ROTATIONAL SPEED CONTROL AND POWER TRANSMISSION SYSTEM OPERATION MONITORING**

**Abstract:** This paper presents a new direction of development in three-phase induction motors intended for mining machines and devices. It presents the constructional solution of motors integrated with power systems, which possess possibility to control the starting process, revolutions as well as operation visualization and monitoring from the mine surface. Also their disadvantages and advantages were presented as well as various possibilities and methods of controlling the drives in the systems composed of one motor and in multiple-motor driving systems.

#### **1. Wstęp**

Rozwój mechanizacji procesów wydobywczych węgla kamiennego oraz koncentracja wydobycia, wymuszają na producentach maszyn górniczych konstruowanie coraz to nowszych maszyn wydobywczych, charakteryzujących się większą wydajnością i trwałością eksploatacyjną oraz większą mocą zainstalowanych silników napędowych.

#### **2. Nowa generacja silników do napędu przenośników**

Ciągle zwiększanie mocy silników instalowanych w napędach przenośników powoduje znaczny wzrost awaryjności tych maszyn. Występowanie dużych momentów dynamicznych podczas rozruchów ma niekorzystny wpływ na trwałość przekładni lub taśmy transporterowej i współpracujących z nią elementów napędowych.

Powstawały różne rozwiązania konstrukcyjne łagodzące te niekorzystne zjawiska z których do najistotniejszych rozwiązań realizowanych na płaszczyźnie elektrycznej można zaliczyć:

1. rozruszniki tyrystorowe,
2. zasilanie silników z przemienników częstotliwości.

Każde z tych rozwiązań posiada swoje wady i zalety. Do wad należy zaliczyć złożoność napędu polegającą na zastosowaniu dodatkowego urządzenia, co w warunkach dołowych wymaga zastosowania obudowy przeciwwybuchowej.

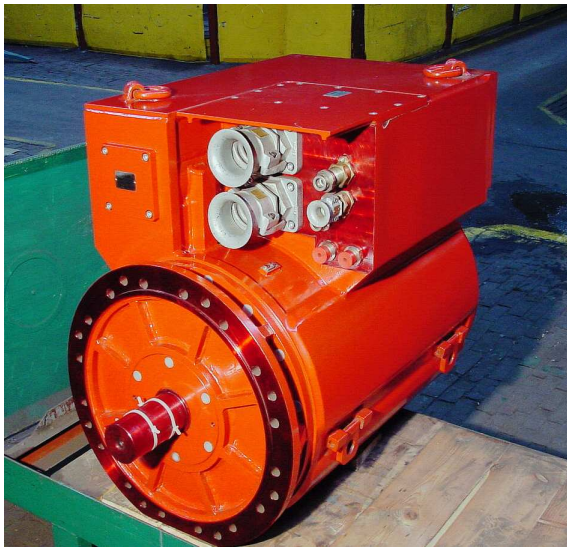
W celu uproszczenia konstrukcji maszyn i obniżenia kosztów w DAMELu podjęto prace nad specjalnymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi silników, pozwalającymi zintegrować układy zasilania z silnikiem i spełnić stawiane im wysokie wymagania, podnosząc jednocześnie trwałość eksploatacyjną maszyn górniczych.

#### **3. Silniki zintegrowane z rozrusznikiem tyrystorowym**

Na rys. 1. przedstawiono silnik z wbudowanym rozrusznikiem tyrystorowym i sterownikiem mikroprocesorowym, który spełnia następujące funkcje:

- 1) wykonuje załączanie, wyłączenie oraz rewers silnika bez układu styczników,
- 2) łagodzi uderzenia momentu dynamicznego występujące podczas załączania,
- 3) łagodzi uderzenia prądu rozruchowego,
- 4) steruje łagodnym procesem rozruchu (soft start) – brak regulacji obrotów w czasie pracy,
- 5) kontroluje temperaturę krytycznego termicznie elementu silnika, którym w stanach rozruchowych jest klatka rozruchowa wirnika,
- 6) kontroluje temperaturę uzwojeń stojana,
- 7) wyrównuje obciążenia w przypadku równoległej pracy dwu lub więcej silników napędzających jeden przenośnik.

Silnik do napędu przenośników poddawany jest dużej ilości rozruchów a występujące dynamiczne uderzenia momentu rozruchowego działają niszcząco na układ napędowy, taśmę i sam silnik. Wbudowany blok tyrystorowy spełniając rolę układu soft start znacząco łagodzi te zjawiska. Jednak w stosunku do powszechnie stosowanych urządzeń tego typu, zabudowany w silniku tyrystorowy układ jest odpowiednio zmodyfikowany i pozwala na realizację algorytmu rozruchu o przebiegu optymalnie dostosowanym do napędu przenośników.



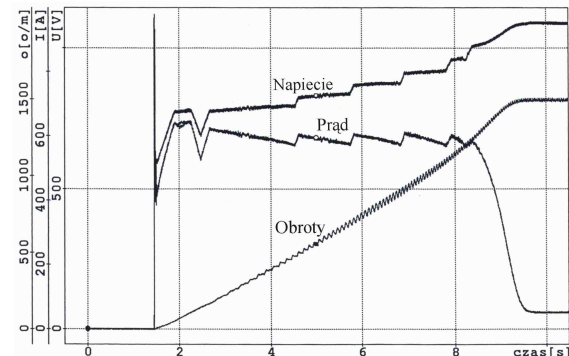
Rys. 1. Silnik SG3T 315M-4, zintegrowany z rozrusznikiem tyrystorowym, produkcji DFME DAMEL S.A. 200kW, 1000V. Przeznaczony do napędu przenośników taśmowych

Zaprogramowany w pamięci sterownika proces rozruchu przebiega następująco:

- w chwili załączenia silnika na jego uzwojenie podawane jest niewielkie napięcie zasilające
- następnie napięcie zwiększane jest płynnie do takiej wartości, przy której wirnik ruszy
- po uruchomieniu wirnika dalszy rozruch realizowany jest wg algorytmu zależnego od napędzanej maszyny, aż do osiągnięcia pełnej prędkości obrotowej i pełnego napięcia na uzwojeniu. Wielkość dopuszczalnego prądu rozruchowego  $I_r$  jest wielkością nastawianą.
- jeśli silnik nie ruszy mimo pełnego wysteroowania tyrystorów, układ wyłącza zasilanie po upływie około 3 s.

Rzeczywisty, zarejestrowany przebieg rozruchu silnika obciążonego dużym zewnętrznym mo-

mentem bezwładności przy zasilaniu z bloku tyrystorowego z nastawionym ograniczeniem prądowym  $I_{ogr}=600$  A pokazuje rys 2.

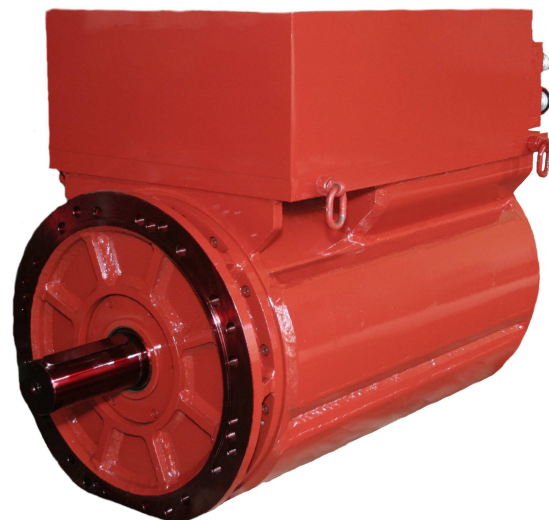


Rys. 2. Przebieg napięcia, prądu i obrotów podczas rozruchu silnika

#### 4. Silniki zintegrowane z przemiennikiem częstotliwości

Silniki asynchroniczne stanowią ogromną większość w napędach górniczych. Są dużą popularnością zawdzięczają stosunkowo prostej budowie, relatywnie niskiej cenie oraz dużej niezawodności. Podstawowym mankamentem tych silników jest brak możliwości regulacji prędkości obrotowej, dlatego wymagają zastosowania odpowiednio sterowanego przekształtnika energoelektronicznego zabudowanego poza maszyną lub na maszynie.

W DAMELu przy współpracy z firmą ENEL opracowano koncepcję silników zintegrowanych z przemiennikiem częstotliwości.



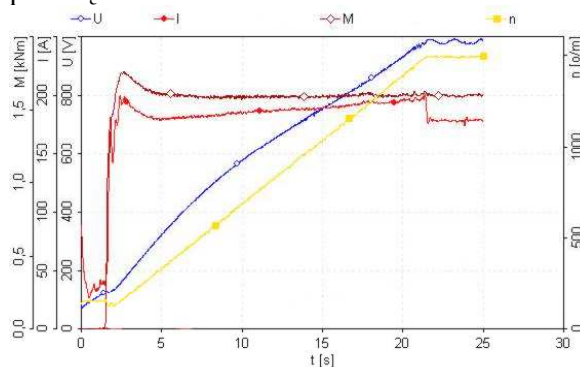
Rys. 3. Silnik SG3F 355L-4 zintegrowany z przemiennikiem częstotliwości produkcji DFME DAMEL S.A., 250kW, 1000/1140V, przeznaczony do napędu przenośników taśmowych lub zgrzeblowych

Opracowano cały typoszereg silników o mocach:

- od 60kW do 120kW, 1000V, 1140V do napędu posuwu kombajnów lub innych urządzeń górniczych.
- od 160kW do 500kW, 1000V, 1140V do napędu przenośników taśmowych, zgrzeblowych lub innych maszyn wymagających regulacji obrotów. Silnik o mocy 250 kW pokazano na rys.3.

#### 4.1. Właściwości silników zintegrowanych z przemiennikiem częstotliwości

Do najważniejszych zalet silników zintegrowanych z przemiennikiem częstotliwości należy zaliczyć: wbudowany do obudowy przeciwwybuchowej silnika kompletny przemiennik częstotliwości i sterownik mikroprocesorowy, realizujący pełne sterowanie i zabezpieczenie przeciążeniowe i termiczne silnika.

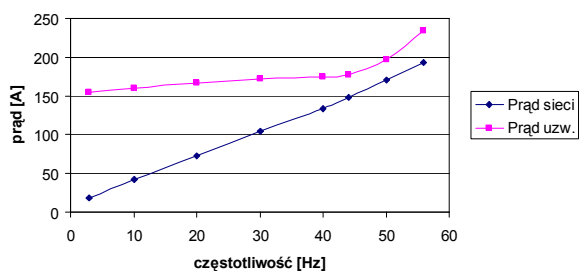


Rys. 4. Rozruch silnika ze stałym obciążeniem.

$$M=Mn, f=0 \div 50\text{Hz}$$

Napięcie  $U$  – napięcie na uzwojeniu

Prąd  $I$  – prąd płynący w uzwojeniu

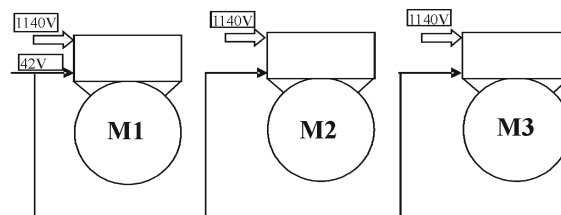


Rys. 5. Wykres prądu w sieci i w uzwojeniu w funkcji częstotliwości

#### 4.2. Zasilanie silników zintegrowanych z przemiennikiem częstotliwości

Silniki przeznaczone są do zasilania z sieci energetycznej o napięciu 1000 lub 1140V, poprzez wyłącznik lub stację transformatorową dowolnego typu. W związku z tym, że podczas rozruchu nie występują przeciążenia sieci zasilającej, odpływy układów zasilania nie muszą być „przewymiarowane”. Obwody wyjściowe wyłączników lub stacji transformatorowych muszą być wyposażone w układy zabezpieczenia ziemnozwarciowego, przystosowane do pracy w sieciach zasilających układy przemienników częstotliwości. Pozostałe zabezpieczenia realizuje sterownik wbudowany do silnika. Przykładowy schemat podłączenia zasilania przedstawiono poniżej.

lającej, odpływy układów zasilania nie muszą być „przewymiarowane”. Obwody wyjściowe wyłączników lub stacji transformatorowych muszą być wyposażone w układy zabezpieczenia ziemnozwarciowego, przystosowane do pracy w sieciach zasilających układy przemienników częstotliwości. Pozostałe zabezpieczenia realizuje sterownik wbudowany do silnika. Przykładowy schemat podłączenia zasilania przedstawiono poniżej.



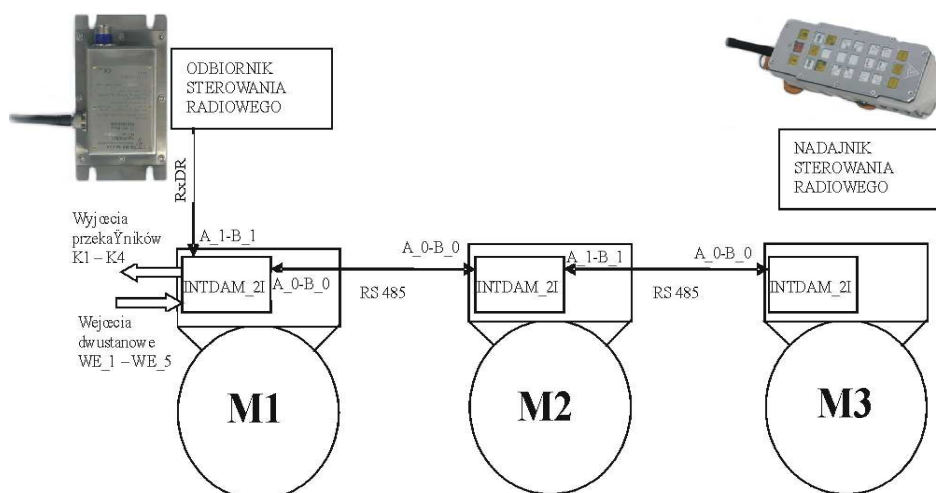
#### 4.3. Sterowanie silnikami w układzie automatyki

Można wyróżnić kilka trybów pracy silników zintegrowanych z przemiennikiem które przewidują:

- samodzielną pracę silnika – w przypadku napędu z jednym silnikiem – Rys. 6 (tylko M1)
- współpracę ze sterownikiem centralnym maszyny (master). W tym trybie sterowniki silników stanowią jednostki podrzędne (slave)
- bez sterownika centralnego maszyny (master). W tym trybie jeden ze sterowników w silniku staje się sterownikiem nadrzędnym (master) a pozostałe stanowią jednostki podrzędne (slave) – Rys. 6,
- praca wielu jednostek w systemie „follow in”. W tym przypadku silnik który jest najbardziej obciążony przejmuje rolę sterownika nadrzędnego (master) a pozostałe stanowią jednostki podrzędne (slave).

Do sterowania silników można wykorzystać następujące elementy sterujące:

1. Pulpit sterujący wyposażony w przyciski i przełączniki realizujące funkcje załączania, wyłączania i wyboru trybu pracy. Ilość przycisków i przełączników zależna jest od aplikacji w jakiej ma pracować napęd. Pulpit musi być wykonany z obwodami iskrobezpiecznymi kategorii  $I_a$  lub  $I_b$ .
2. System automatyki przenośnika wyposażony w układy sterujące wykorzystujące łącza szeregowe RS485 lub pętlę prądową.



Rys. 6. Sterowanie silnikami bez sterownika nadrzędnego lub praca pojedynczego silnika (Tylko M1).

3. Nadajnik i odbiornik sterowania radiowego. Silniki są fabrycznie przystosowane do zabudowy odbiornika i zasilania jego obwodów. Łączność radiowa odbywa się na częstotliwości radiowej w paśmie 433MHz. Sygnał radiowy jest odpowiednio kodowany co uniemożliwia przypadkowe sterowanie innymi urządzeniami pracującymi w tym samym paśmie częstotliwości.
4. Podłączenie jednego portu RS485 poprzez modem telefoniczny do lokalnej linii telefonicznej, umożliwia wyprowadzenie wszystkich danych o parametrach pracy silnika na powierzchnię zakładu wydobywczego i realizację pełnej wizualizacji pracy silnika na monitorze komputera lub przesłanie ich dalej przez Internet do dowolnie wybranego miejsca.

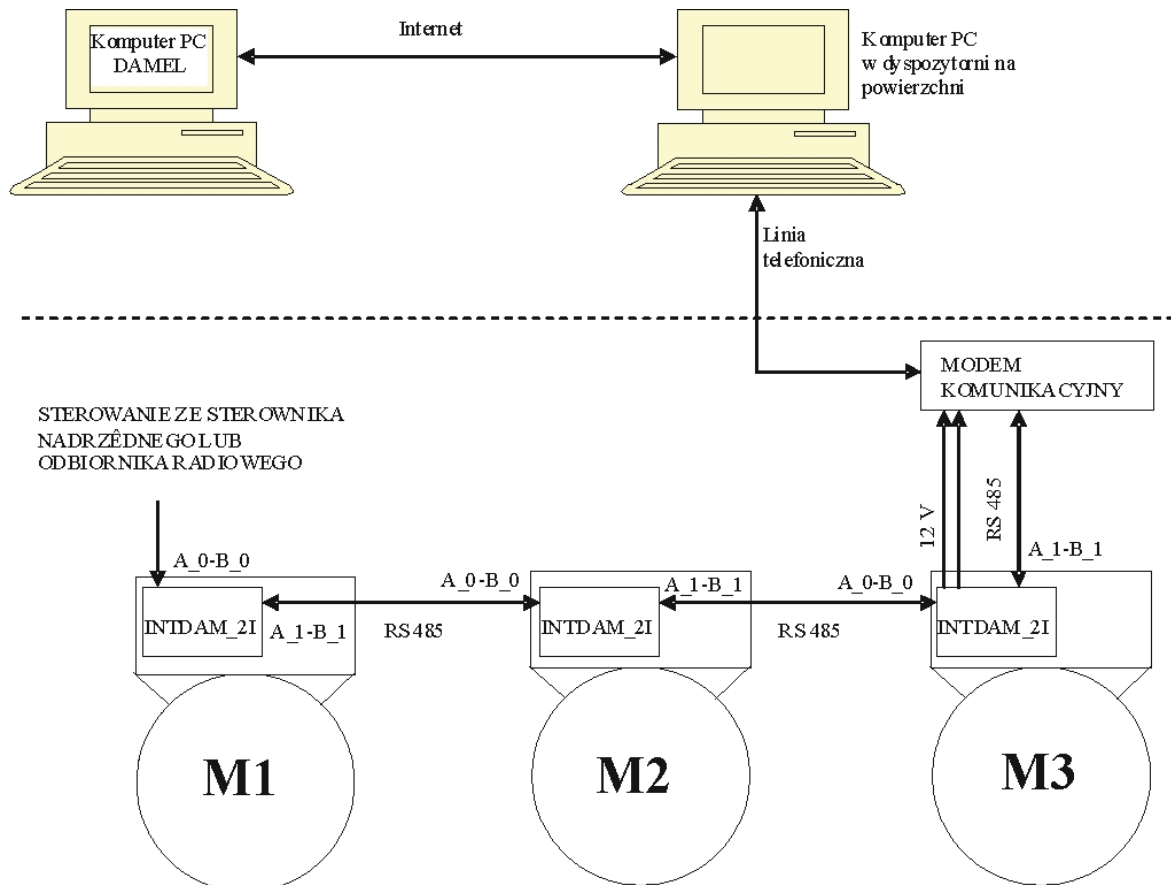
#### 4.3. Wizualizacja pracy silników

Zastosowanie sterownika INTDAM wewnątrz silnika oraz wyprowadzenie danych poprzez porty RS 485 pozwala na podłączenie silników

do systemu wizualizacji pracy i wyprowadzenie danych na powierzchnię za pomocą modemów i linii telefonicznej lub lokalnej sieci informacyjnej.

Dane znajdujące się na powierzchni można dalej poprzez komputer PC i sieć Internet przesyłać w dowolne miejsce na świecie. Dzięki temu można ciągle odczytywać aktualne warunki pracy silników a także tworzyć całą historię jego pracy. Przykładowy schemat podłączenia w układzie wizualizacji przedstawiono na rys. 7. Na Rys.8 pokazano odczyt danych z komputera na powierzchni – zrzut ekranowy oraz Rys. 9. Przebiegi odczytane z układu wizualizacji pracy silnika.

Rysunki te pochodzą z systemu wizualizacji pracy przENOŚNIKA zgrzeblowego podścianowego pracującego na KWK Jas-Mos w Jastrzębiu Zdroju, wykorzystującego sterowanie z pulpitu sterującego i nadajnika sterowania radiowego.



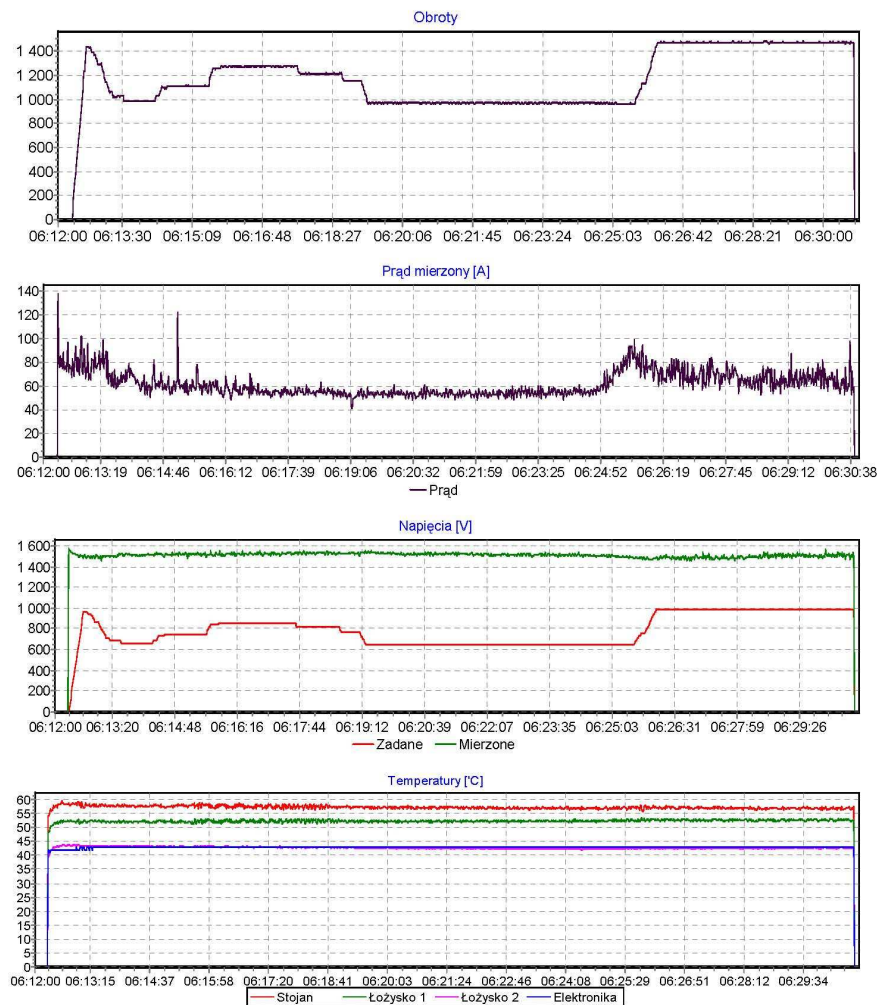
Rys 7. Uproszczony schemat połączenia z komputerem PC na powierzchni kopalni za pomocą modemu

Wyłączenie numer: 11

Wył. w dniu: 28.6.2006 o godz.: 3:56:23  
 Wył. w dniu: 28.6.2006 o godz.: 7:53:42  
 Wył. w dniu: 28.6.2006 o godz.: 7:54:19  
 Wył. w dniu: 28.6.2006 o godz.: 7:54:54  
 Wył. w dniu: 28.6.2006 o godz.: 7:55:26  
 Wył. w dniu: 28.6.2006 o godz.: 7:56:13  
 Wył. w dniu: 28.6.2006 o godz.: 8:6:25  
 Wył. w dniu: 28.6.2006 o godz.: 8:7:2  
 Wył. w dniu: 28.6.2006 o godz.: 8:8:1  
 Wył. w dniu: 28.6.2006 o godz.: 8:21:3  
**Wył. w dniu: 28.6.2006 o godz.: 8:21:50**  
 Wył. w dniu: 28.6.2006 o godz.: 8:22:48  
 Wył. w dniu: 28.6.2006 o godz.: 8:35:21  
 Wył. w dniu: 28.6.2006 o godz.: 8:50:15  
 Wył. w dniu: 28.6.2006 o godz.: 8:50:52  
 Wył. w dniu: 28.6.2006 o godz.: 9:5:5  
 Wył. w dniu: 28.6.2006 o godz.: 9:5:25  
 Wył. w dniu: 28.6.2006 o godz.: 9:6:30  
 Wył. w dniu: 28.6.2006 o godz.: 9:7:7  
 Wył. w dniu: 28.6.2006 o godz.: 9:7:59  
 Wył. w dniu: 28.6.2006 o godz.: 9:8:26  
 Wył. w dniu: 28.6.2006 o godz.: 9:57:45  
 Wył. w dniu: 28.6.2006 o godz.: 9:58:5  
 Wył. w dniu: 28.6.2006 o godz.: 9:58:26  
 Wył. w dniu: 28.6.2006 o godz.: 10:50:52

Wyłączenie w dniu: 28.6.2006 o godzinie :8:21:50  
 Stan sterownika: **Wydobycie**  
 Przyczyna wyłączenia : **Sterownik, łączność pilota**  
 Częstotliwość zadana wyłączenia : 42,7  
 Częstotliwość wyłączenia : 42,7  
 Napięcie Ud wyłączenia : 1 445,0  
 Prąd wyłączenia : 72,0  
 Temperatura stojana : 39,4  
 Temperatura łożyska 1 : 38,7  
 Temperatura łożyska 2 : 36,3  
 Temperatura elektroniki : 28,0

Rys. 8. Odczyt danych z układu wizualizacji pracy silników. Zrzut ekranu z historii wyłączeń



Rys. 9. Przebiegi odczytane z układu wizualizacji i monitoringu pracy silnika.

## 5. Podsumowanie i wnioski

Indukcyjne silniki asynchroniczne, zasilane z energoelektronicznych układów zasilania, wy-

kazują wiele zalet w stosunku do silników tradycyjnych. Zestawienie najważniejszych właściwości przedstawiono w tabeli poniżej.

Właściwości silnika (cechy)	Silnik tradycyjny	Silnik zintegrowany z rozrusznikiem tyrystorowym	Silnik zintegrowany z przemiennikiem częstotliwości
Prosta konstrukcja	+	-	-
Wbudowane czujniki temperatury	+	+	+
Wbudowany układ do współpracy z czujnikami temperatury	-	+	+
Wewnętrzne zabezpieczenie przeciążeniowe	-	+	+
Łagodny rozruch	-	+	+
Dopasowanie charakterystyki rozruchowej do rodzaju obciążenia	-	+	+
Pomiar obrotów	-	+	+
Wyrównywanie obciążeń pomiędzy silnikami pracującymi w jednym napędzie	-	+	+
Pełna wizualizacja pracy silnika	-	+	+
Regulacja obrotów	-	-	+
Ciągła praca silnika na dowolnie wybranej prędkości obrotowej	-	-	+
			W zakresie 90 ÷ 1800 obr/min

Możliwość dopasowania prędkości do warunków obciążenia silnika	-	-	+
Znamionowy moment obrotowy od 0 do obrotów synchronicznych	-	-	+ Możliwe przeciążenie 150%
Mały prąd rozruchowy pobierany z sieci zasilającej	-	-	+

Silniki, które posiadają wbudowane układy energoelektroniczne do wspólnej obudowy (zintegrowane) dodatkowo eliminują kilka wad w stosunku do silników zasilanych z oddzielnych układów energoelektronicznych. Do najważniejszych można zaliczyć:

1. Tańsze rozwiązanie ze względu na brak drugiej obudowy przeciwwybuchowej mieszczącej układy energoelektroniczne.
2. Brak konieczności stosowania odpowiednich kabli pomiędzy silnikiem a przemiennikiem częstotliwości
3. Brak konieczności stosowania specjalnych układów ziemnozwarciowych, zabezpieczających połączenia pomiędzy silnikiem a oddzielnym układem przemiennika częstotliwości, zapewniających poprawną pracę w pełnym zakresie częstotliwości pracy przemiennika.

Z powyższego zestawienia właściwości poszczególnych rozwiązań wynika, że silniki zintegrowane z przemiennikiem częstotliwości są bardzo dobrym rozwiązaniem do stosowania w napędach maszyn i urządzeń wymagających łagodnego rozruchu, regulacji prędkości obrotowej oraz pracujących w mocno obciążonych sieciach zasilających. Dodatkowo, możliwość pracy w pełni zautomatyzowanych aplikacjach, oraz możliwość wizualizacji pracy z wyprowadzeniem wszystkich danych na powierzchnię zakładów wydobywczych podnosi walory użytkowe takich napędów.

## 6. Literatura

[1]. mgr inż. Maciej Bernatt, dr inż. Jakub Bernatt - BOBRME "KOMEL" Katowice: „silnik z wbudowanym blokiem tyrystorowym - nowa generacja napędu dla przenośników zgrzeblowych i taśmowych”, *Maszyny Górnicze* 84 (2000)

[2]. inż. Jacek Przybyłka – DAMEL S.A. „Nowoczesne, regulowane układy napędowe produkcji DFME „DAMEL” przeznaczone do napędu maszyn i urządzeń w strefach zagrożonych wybuchem” XIV Międzynarodowe Sympozjum – „Nowe rozwiązania i doświadczenia w budowie i bezpiecznej eksploatacji urządzeń kompleksowej odstawy urobku przenośnikami taśmowymi” Zakopane 2006.

[3]. inż. Jacek Przybyłka – DAMEL S.A. „Wizualizacja i monitorowanie nowoczesnych układów napędowych produkcji DFME „DAMEL” przeznaczonych do pracy w strefach zagrożonych wybuchem”. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna KOMTECH 2006 "Innowacyjne i bezpieczne systemy mechanizacyjne do eksploatacji surowców mineralnych" Zakopane 2006.