

dr inż. ZDZISŁAW KRZYSTANEK  
dr inż. BOŻENA BOJKO  
dr inż. STANISŁAW TRENCZEK  
mgr inż. KAROL ŚPIECHOWICZ  
mgr inż. PIOTR WOJTAS  
Instytut Technik Innowacyjnych EMAG

## Nowe podejście do problematyki monitorowania zagrożeń naturalnych w kopalniach węgla kamiennego

### New Approach to the Problem of Environmental Hazards Monitoring in Coal Mines

*Prezentowane wybrane wyniki prac badawczo-konstrukcyjnych związanych z opracowaniem nowego systemu należącego do kategorii systemów bezpieczeństwa. Zapewnia on monitorowanie i prognozowanie zagrożeń wentylacyjnych, których źródłem jest eksploatacja górnicza w ścianach i przodkach kopalń węgla kamiennego o wysokiej koncentracji wydobywania. Istotą projektu było stwierdzenie, że analizę parametrów charakteryzujących poziom zagrożeń naturalnych w większości przypadków prowadzi się obecnie w oderwaniu od informacji o przebiegu procesu produkcyjnego, stanie maszyn i urządzeń. Tymczasem w kopalniach, stosujących wysoko-wydajne technologie urabiania, proces ten ma największy wpływ na kształtowanie się poziomu, a przede wszystkim na dynamikę zjawisk wentylacyjnych prowadzących do powstawania stanów awaryjnych (przymusowe wyłączenia energii elektrycznej), krytycznych czy katastroficznych. Potwierdzają to analizy danych z zainstalowanych w polskich kopalniach systemów monitorowania parametrów bezpieczeństwa. Wynika stąd wniosek, że w kopalni o wysokiej koncentracji wydobywania i wysokim poziomie skojarzonych zagrożeń, bezpieczeństwo nie może być rozpatrywane jako pojęcie niezależne. Stanowi ono bowiem nieodłączną część procesu produkcyjnego, a jego poziom zależy nie tylko od czynników naturalnych, lecz także od stanu maszyn i urządzeń ciągu technologicznego oraz sposobu prowadzenia urabiania i sterowania przebiegiem produkcji węgla. W artykule przedstawiono wynikającą stąd nową koncepcję systemu monitorowania zagrożeń naturalnych w ścianie wydobywczej, zwięźle opisano funkcje opracowanego dla jej realizacji prototypowego systemu oraz scharakteryzowano wybrane urządzenia dołowe.*

*The article presents some research carried out with the aim to design a new system which belongs to the mine safety systems category. The system ensures monitoring and prediction of ventilation hazards in high output longwalls, whose source is mining activity. The essence of the project is that so far the analysis of parameters which describe the environmental hazards level has been made in most cases without information about the production process. Meanwhile, in the mines which use modern mining technologies, this process has the greatest impact on the formation of level dynamics of the ventilation phenomena that lead to a rise of emergency states and even catastrophes. This is confirmed by the analysis of data from monitoring systems installed in Polish mines. The lesson here is that in the mines of high production and high level of environmental hazards, safety is an integral part of the production process, and its level depends not only on natural issues but also on the state of machines and equipment of the technological line as well as the method of coal mining and control of the coal production process. This article presents a new concept of the system for environmental hazards monitoring in longwalls and developments and briefly describes its main functions and selected underground equipment.*

## 1. WSTĘP

Eksploracja górnicza w ścianach i przodkach głębokich kopalń węgla kamiennego o wysokiej koncentracji wydobywania prowadzona jest w coraz trudniejszych warunkach. Poziom zagrożeń występujących podczas prowadzenia robót górniczych zależy od rodzaju i liczby tych zagrożeń, w tym coraz częściej od tak zwanych zagrożeń skojarzonych. Ważny jest również stan techniczny i bieżące parametry pracy maszyn i urządzeń ciągów technologicznych. Do monitorowania parametrów atmosfery i poziomu zagrożeń wentylacyjnych w górnictwie polskim stosuje się systemy z centralnym zasilaniem i czujnikami umieszczonymi na obrzeżach kontrolowanych rejonów [9]. Do monitorowania stanu pracy i parametrów eksploatacyjnych w górnictwie stosowane są systemy opracowane przez producentów maszyn i urządzeń ciągów technologicznych. Dane pomiarowe z tych systemów rejestrowane i analizowane są oddzielnie, mimo że zależność warunków środowiskowych od stanu urządzeń produkcyjnych jest ewidentna. Prawdopodobnie jest to podstawowa przyczyna zdarzających się ciągle w kopalniach wypadków i katastrof, pomimo stosowania nowoczesnych systemów zabezpieczeń metanometrycznych, gazowych, a także sejsmicznych [2,3].

W ramach projektu badawczego realizowanego przez Instytut EMAG we współpracy z ukraińskim instytutem Avtomatgormasz [5] opracowany został prototyp nowego systemu, w którym założono rozszerzenie zakresu pomiarów, integrację danych o środowisku i informacji technologicznych oraz wprowadzenie elementów prognozowania zagrożeń naturalnych. Zmiany te mają na celu poprawę bezpieczeństwa i wyników ekonomicznych zakładów górniczych. Środki realizujące te cele to wprowadzenie nowych rozwiązań technicznych umożliwiających pełniejszą niż dotychczas analizę parametrów bezpieczeństwa, z kontrolą sprowadzoną na niższy poziom. Opracowany w wyniku realizacji projektu system, oprócz realizacji funkcji automatycznego zatrzymywania ciągów technologicznych przy zagrożeniu wybuchem, ma możliwość wypracowywania i bezwzględnego przekazywania zainteresowanym służbom informacji (krótkoterminowych prognoz) pozwalających na uniknięcie stanów bezpośredniego zagrożenia i związanych z tym przymusowych postojów.

## 1. INTRODUCTION

Mining operations in the longwalls and coal faces of deep hard coal mines with high concentration of production are carried out in more and more difficult environmental conditions. The level of hazards which occur during mining operations depends on the kinds and frequency of these hazards and on the so called associated hazards. Additionally, it is important to consider the technical condition and working parameters of machines and ancillary equipment. In Poland, the ventilation parameters and hazards are monitored with the use of systems [9] equipped with sensors placed on the boundaries of monitored areas (longwalls, developments). The operating conditions and parameters are monitored with the use of systems developed by the manufacturers of machines and ancillary equipment. The measuring data from these systems are archived and analyzed separately, though the dependencies between environmental conditions and the condition of production equipment are evident.

The EMAG Institute, in co-operation with the Ukrainian Avtomatgormash Institute, had been carrying out a research project [4,5] with a view to develop a new monitoring system. It was assumed that the system would have an extended range of measurements, would integrate the environmental data with information on the current state of technological equipment, and would feature some elements for natural hazards prediction. These modifications were to increase the safety and the economical effects of the mining industry. The new technological solutions make it possible to analyze safety parameters in a more extensive manner and to bring the monitoring process to a lower level (underground). Apart from the function enabling to stop an activity whenever an explosion hazard occurs, the proposed system works out, and sends to all involved personnel, warning and/or alarm messages which allow to avoid direct danger and reduce the related down-times.

The research undertaken with respect to the new system concept is carried out independently of the analysis of the hazards causes. The hazards do occur in mines in spite of state-of-the-art protection systems installed there to detect gas and seismic hazards [2,3]. The research was indispensable to solve the issues of mining safety in modern mines with high concentration of coal faces.

Najważniejsze cele projektu sformułowano następująco:

- 1) rozszerzenie zakresu pomiarów za pomocą czujników stacjonarnych tak, aby możliwa była ciągła kontrola parametrów bezpieczeństwa w ścianach i przodkach, czyli tam, gdzie znajdują się źródła zagrożeń, a ich poziom i dynamika są największe,
- 2) rozszerzenie zakresu pomiarów w ścianach i przodkach o informacje technologiczne (stan pracy maszyn i urządzeń, położenie maszyny urabiającej itp.) niezbędne do wypracowywania prognoz i decyzji sterujących,
- 3) zapewnienie środków technicznych umożliwiających przetwarzanie i analizę danych pomiarowych oraz podejmowanie i realizację decyzji sterujących w czasie rzeczywistym w lokalnym (rejonowym) centrum dyspozytorskim, położonym w bezpośredniej bliskości monitorowanego obiektu, tzn. ściany lub przodka,
- 4) zapewnienie środków technicznych umożliwiających transmisję zbieranych i przetworzonych informacji z lokalnych centrów dyspozytorskich na powierzchnię w celu wykorzystania ich w rutynowej działalności profilaktycznej.

## 2. KONCEPCJA STRUKTURY SYSTEMU

Realizacja nowego systemu monitorowania i prognozowania zagrożeń miała na celu, jak już wspomniano we wstępie, poprawę bezpieczeństwa i wyników ekonomicznych zakładów górniczych, poprzez wprowadzenie nowych rozwiązań technicznych umożliwiających pełniejszą niż dotychczas analizę parametrów bezpieczeństwa. Ponieważ ma on wypracowywać i przekazywać zainteresowanym służbom dołowym i powierzchniowym informacje pozwalające na uniknięcie stanów bezpośredniego zagrożenia i związanych z tym przymusowych postojów, niezbędne jest oparcie go na odpowiednim systemie transmisji.

Trzonem nowej struktury (Rys. 1) jest zintegrowany światłowodowy system transmisji ( $\mu$ ZIST), składający się z zestawu lokalnych stacji transmisji danych zabudowanych w czynnych ścianach i przodkach przygotowawczych. Stacje lokalne systemu transmisji są wyposażone w interfejsy umożliwiające komunikację z urządzeniami pomiarowymi i technologicznymi zlokalizowanymi w obrębie obiektów monitorowania i umożliwiają przekazywanie danych do lokalnego centrum dyspozytorskiego (RCD) oraz do powierzchniowej części systemu monitorowania i prognozowania.

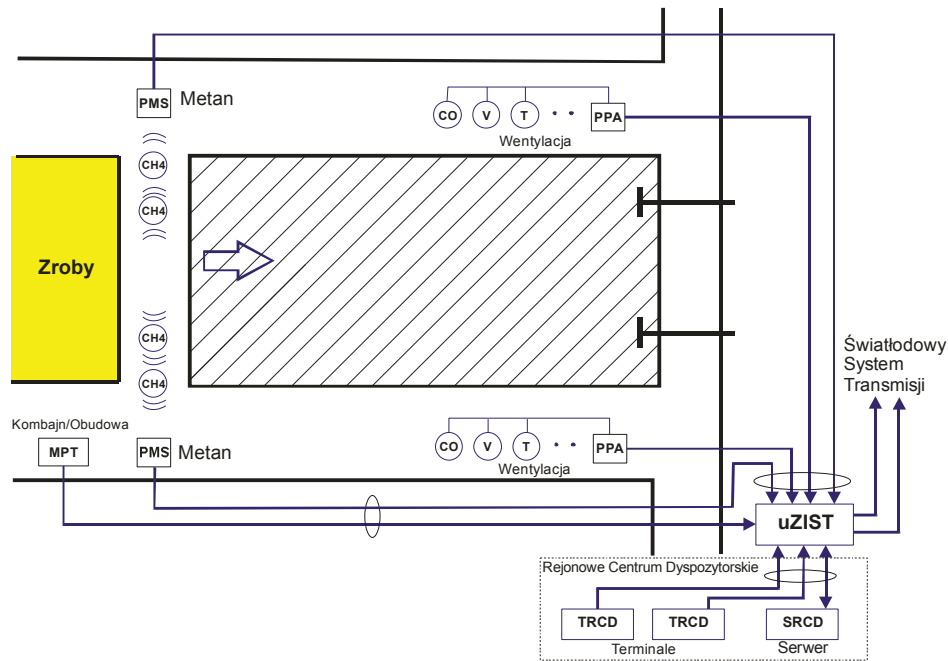
The directions of the research had to include the following:

- 1) extending the range of measurements by means of fixed type measuring instruments in order to ensure on-line monitoring of safety parameters within longwalls and development faces, i.e. in places where the hazards originate and where the level and dynamics of the hazards are the highest,
- 2) extending the range of measurements in longwalls and development faces by technological data (operating conditions of machines and equipment, location of a mining machine, etc.) indispensable to work out prognoses and control decisions,
- 3) providing technical measures to enable the processing and analysis of measurement data, as well as to make and perform control decisions in real time in a point which is considered a local (underground) control centre, located next to the monitored facilities, i.e. longwall or coal face,
- 4) providing technical measures to enable the transmission of selected processed data from local control centres to the surface, with a view to use these data in routine prevention actions.

## 2. STRUCTURE OF THE DESIGNED SYSTEM

As it was mentioned before, the system for hazards monitoring and prediction had been designed to improve the safety and economical effects in the mining industry by providing new technical solutions, which enable a more extensive analysis of safety parameters. As the system is to work out, and send to all involved underground personnel, the data which allow to avoid direct hazards and related forced down-times, it is necessary to base the new solution on a proper transmission system in order to achieve this objective.

The core of the new structure (Fig. 1) is an integrated fiber-optic high-speed transmission system ( $\mu$ ZIST) consisting of a set of local transmission stations located in all active longwalls and development headings. These stations are equipped with interfaces which enable communication with measuring and technological devices located within the monitored facilities. They continuously collect data from measuring stations of ventilation (PPA), methane (PMS) and production parameters (MPT).



Rys. 1. Schemat rozmieszczenia urządzeń dołowych systemu w ścianie wydobywczej  
 Fig. 1. The layout of the new system equipment in a longwall area of a mine

W celu realizacji funkcji ostrzegania o sytuacjach awaryjnych i przedawaryjnych, w systemie przewiduje się również sprzężenie systemu  $\mu$ ZIST z urządzeniami głośnomówiącej łączności technologicznej.

Podstawowym zadaniem lokalnych stacji transmisji jest pośredniczenie w zbieraniu danych pomiarowych z czujników mierzących parametry bezpieczeństwa i parametry technologiczne oraz ich transmisji na powierzchnię i do zestawu urządzeń informatycznych tworzących rejonowe centrum dyspozytorskie RCD. Dane pomiarowe dostarczane są w sposób ciągły do lokalnych stacji transmisji  $\mu$ ZIST ze stacji pomiarowych PPA, PMS MPT, rozlokowanych w wyrobiskach ścian i przodków.

### 3. ZAKRES POMIARÓW I PRZETWARZANIA DANYCH POMIAROWYCH

Baza danych podziemnej części systemu powinna zawierać rejestrowane na bieżąco wyniki pomiarów z zakresu aerologii (wentylacja ze szczególnym uwzględnieniem zawartości metanu) [8] i stanu obiektów technologicznych oraz oprogramowanie niezbędne do bieżącej analizy stanu zagrożeń. Z kolei część powierzchniowa zawiera oprogramowanie przeznaczone do wykonywania prognoz stężenia gazów w rejonie ściany. Parametry środowiska, określające poziom zagrożeń, są – zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 1 – monitorowane przez następujące rodzaje stacji pomiarowych:

Additionally, the stations make it possible to transfer data to a computer-based local control centre (RCD) and to the surface part of the system for hazards monitoring and prediction. The function of direct sending failure and pre-failure warning signals to the underground staff is also provided, thanks to the connection with a telecommunications system based on loudspeakers.

To summarize, the basic task of the local station is to perform an intermediary function as it collects measuring data from sensors which measure safety (environmental) and technological parameters, and transmits these data to the surface and to the set of IT equipment which makes up the local RCD control and supervision station.

### 3. RANGE OF MEASUREMENTS

The database in the underground part of the system should be made by measurement results from the domains of aerology (ventilation with special regard to methane content) and technological facilities and should have software necessary for current analysis of the hazard level. The surface part, in turn, has software for predicting the concentration of gas in the longwall face area. Safety (environmental) parameters in the above-described structures are monitored by the following kinds of measuring stations (Fig. 1):

- stacje PPA służące do wykonywania pomiarów jakości i ilości powietrza (CO, O<sub>2</sub>, prędkość przepływu powietrza, ciśnienie, temperatura), zlokalizowane na końcach wyrobiska ścianowego – na jego wlocie i wylocie,
- stacje PMS służące do akwizycji danych metanometrycznych za pomocą sieci czujników (M) rozmieszczonych wzdłuż wyrobiska ścianowego, z możliwością wykorzystania komunikacji bezprzewodowej,
- stacje MPT przeznaczone do akwizycji stanów podstawowych urządzeń ciągów technologicznych w rejonie ściany, tj. kombajnu, obudowy zmechanizowanej i przenośników.

Ponadto w kopalniach zagrożonych łąpaniami zestaw pomiarowy może być uzupełniony o stację akwizycji danych sejsmicznych monitorującą sygnały z sieci geofonów.

Dane ze wszystkich monitorowanych urządzeń (wentylacja, metan, maszyny i urządzenia ciągów technologicznych, ew. sejsmologia) są przekazywane do lokalnej stacji transmisji, a stąd do urządzeń komputerowych rejonowego i powierzchniowego centrum dyspozytorskiego.

#### 4. WYBRANE FUNKCJE I ALGORYTMY

Informacje o stanie środowiska i parametrach pracy maszyn i urządzeń technologicznych rejestrowane są w bazach danych urządzeń informatycznych rejonowego centrum dyspozytorskiego, a oprócz tego przesyłane na powierzchnię. Analiza danych może być zatem realizowana zarówno lokalnie w RCD, gdzie wykorzystuje się proste algorytmy zapewniające lokalną kontrolę i ostrzeganie załogi z wykorzystaniem systemu głośnomówiącej łączności technologicznej, jak również w stacji kontroli i nadzoru na powierzchni kopalni.

Podstawową funkcją systemu jest bieżące monitorowanie parametrów wentylacyjnych, bezpieczeństwa i produkcji wykorzystywanych przez personel podziemny i kierownictwo kopalni. Jednakże dane pomiarowe zbierane na bieżąco przez system umożliwiają także realizację szeregu przydatnych w praktyce obliczeń i analiz, które są wprawdzie określone w polskich przepisach górniczych, ale nie zawsze możliwe do realizacji w obecnie stosowanych systemach monitorowania. Niektóre z nich są wymienione poniżej:

- PPA stations for air quality and quantity measurements (CO, O<sub>2</sub>, air velocity, temperature etc.), located at the longwall face ends – in the intake and outlet,
- PMS micro-stations for methane data acquisition that collect measuring data from the network of methane sensors (M) distributed along the longwall face using wireless communication (no additional cabling inside the longwall planned),
- MPT stations for data acquisition on the state of the basic facilities of technological equipment in the longwall face area, i.e. shearer (BPK), powered roof support (Pop) and chain conveyor.

Besides, in mines endangered with rock-bump hazards a set of geophones is used to control seismic activity of the longwall face area.

The data from all monitored facilities (ventilation control, methane detection, seismology, technological machines and equipment) are all transferred through the local transmission station to the local (underground) and main (surface) control centres.

#### 4. SELECTED FUNCTIONS AND ALGORITHMS

The data about the values of measured parameters are transferred to the IT system, hereafter called the local control centre (RCD in Fig. 1), located in an excavation with a fresh air current, close to a longwall heading with intake air coming to the face. These data are also transferred to the surface. Data analyses can be carried out both in underground RCDs (for local warning and control using a loud speaking communication system) as well as in the control and supervision station on the surface of a mine.

The basic function of the system is current monitoring of ventilation, safety and production parameters for the use of the underground staff and mine management. However, the measuring data collected in the proposed system make it possible to frame some very useful on-line guidelines for calculations and analysis which are stipulated by Polish mining regulations, but not always possible in today's practice. Some of them are listed below:

1) Prognozowanie trendów zmian wartości o szczególnym znaczeniu, np. stężenia metanu, prędkości powietrza, tlenu węgla, temperatury powietrza itp. W części powierzchniowej systemu proponuje się zastosowanie do tego celu metod analizy wieloczynnikowej i wnioskowania maszynowego [6,7] z uwzględnieniem informacji o stanie maszyn i wyposażenia technologicznego. W części dołowej mogą być realizowane proste, szybkie algorytmy średniej ruchomej w oparciu o wyrażenie:

$$F_t = \frac{A_r + A_{r-1} + \dots + A_{t-n+1}}{n} \quad (1)$$

gdzie:

$A$  – wartość liczbową parametru w danym momencie,  
 $t$  – łączna liczba punktów w serii pomiarowej,  
 $n$  – liczba określająca okres uśredniania,  
 $r$  – kolejny punkt serii pomiarowej.

2) Poza bieżącym monitorowaniem stężenia tlenu węgla i innych parametrów aerologicznych, w systemie możliwe jest bieżące wyznaczanie wskaźników wykorzystywanych do wczesnego wykrywania pożarów podziemnych, takich jak:  
 – objętość tlenu węgla  $\dot{V}_{CO}$  według wzoru:

$$\dot{V}_{CO} = (\dot{V} \cdot q''_{CO}) \cdot 0,001, \quad [l/min] \quad (2)$$

gdzie:

$\dot{V}$  – wydatek powietrza ( $m^3/min$ ),  
 $q''_{CO}$  – stężenie tlenu węgla (ppm),

– przyrost stężenia tlenu węgla  $\Delta CO$  według wzoru:

$$\Delta CO = CO - CO^x, \quad [\%] \quad (3)$$

gdzie:

$CO^x$  – zawartość tlenu węgla w prądzie powietrza wlotowego,  
 $CO$  – zawartość tlenu węgla w prądzie powietrza wylotowego,  
 jak również prognozowanie trendów w zmianach tych współczynników.

3) Oprócz bieżącego monitorowania prędkości powietrza  $v$  [ $m/s$ ], obliczanie wydatku powietrza w prądzie dopływowym do ściany  $\dot{V}$ , po uprzednim wprowadzeniu do algorytmu wartości przekroju poprzecznego wyrobiska  $A$  [ $m^2$ ] w stacji pomiarowej, zgodnie z wzorem:

$$\dot{V} = v \cdot A \cdot 60, \quad [m^3/min] \quad (4)$$

1) Predicting the trends in the changes of values of special importance, e.g. methane concentration, air velocity, carbon monoxide concentration, air temperature, etc. It is expected to apply in the system the method of multi-factor analysis or other prediction methods [6,7], additionally taking into consideration the data on the condition of machines and technological equipment. However, in the simplest case the moving average model can be used, based on the expression:

$$F_t = \frac{A_r + A_{r-1} + \dots + A_{t-n+1}}{n} \quad (1)$$

where:

$A$  – numerical value of the parameter in a given point of time,  
 $t$  – total number of points in the series,  
 $n$  – number determining the period,  
 $r$  – successive point in the series.

2) Apart from current monitoring of the carbon monoxide concentration other factors and coefficients can be calculated for the purpose of underground fire detection, like:

– carbon monoxide volume  $\dot{V}_{CO}$  according to the formula:

$$\dot{V}_{CO} = (\dot{V} \cdot q''_{CO}) \cdot 0,001, \quad [l/min] \quad (2)$$

here:

$\dot{V}$  – air output,  $m^3/min$ ,  
 $q''_{CO}$  – carbon monoxide concentration, ppm,

– increase in the concentration of carbon monoxide  $\Delta CO$  according to the following formula:

$$\Delta CO = CO - CO^x, \quad [\%] \quad (3)$$

where:

$CO^x$  – carbon oxide content in the station, in the intake air current,  
 $CO$  – carbon oxide content in the station, in the return air current,  
 as well as predicting the trends in the changes of these coefficients.

3) Apart from current monitoring of the air velocity  $v$  [ $m/s$ ], calculating the air volume in the intake current coming to the face  $\dot{V}$  – after entering to the algorithm the numerical value of the working cross-section  $A$  [ $m^2$ ] in the measuring station – according to the formula:

$$\dot{V} = v \cdot A \cdot 60, \quad [m^3/min] \quad (4)$$

- 4) Obliczanie i bieżące monitorowanie rozkładu pola potencjałów aerodynamicznych [1] poprzez:
- wykorzystanie wyników pomiarów ciśnienia barometrycznego [Pa], prędkości powietrza [m/s], temperatury [°C] i wilgotności względnej [%],
  - wprowadzenie wartości głębokości niwelacyjnej [m] do algorytmu, który umożliwi obliczenie wartości potencjału aerodynamicznego w każdym monitorowanym węźle sieci wentylacyjnej,
  - obliczanie wartości potencjału w węźle.
- 5) Monitorowanie poziomu zagrożenia tąpnięciami (aktywności sejsmicznej górotworu) na podstawie danych z sieci geofonów poprzez wykrywanie i akwizycję zjawisk sejsmicznych oraz określanie energii wstrząsów.

Po wykryciu (lub przewidzeniu) każdego nienormalnego, krytycznego lub niebezpiecznego stanu system wysyła adekwatne ostrzeżenie i/lub wiadomość do personelu podziemnego i powierzchniowego zgodnie z obowiązującymi przepisami górnictwa.

## 5. URZĄDZENIA DOŁOWE SYSTEMU

Opracowany w ramach projektu prototypowy system ma strukturę rozproszoną. Składa się z oddzielnych stacji pomiarowych, które monitorują stan zagrożeń naturalnych w najbardziej niebezpiecznych punktach obiektów technologicznych oraz stan pracy urządzeń i maszyn dołowych ciągów technologicznych. Informacje zbierane w stacjach pomiarowych są przesyłane do rejonowego centrum dyspozytorskiego zlokalizowanego w pobliżu monitorowanego obiektu. Sprzęt komputerowy zainstalowany w rejonowym centrum dyspozytorskim umożliwia bieżącą analizę danych i wizualizację, a także wypracowywanie prognoz rozwoju zagrożeń w postaci krótkookresowych trendów. Informacje o zaistniałych lub prognozowanych sytuacjach wzmożonego zagrożenia mogą być rozgłaszane na obszarze monitorowanego obiektu za pośrednictwem urządzeń systemu łączności głośnomówiącej. Wybrane informacje o stanie zagrożeń są transmitowane na powierzchnię, do dyspozytorni głównej, za pomocą światłowodowego systemu transmisji. Taka konstrukcja systemu zapewnia minimalizację kosztów okablowania niezbędnego do jego budowy i działania.

Ze względu na całkowicie odmienną, w porównaniu z obecnie produkowanymi systemami monitorowania zagrożeń, filozofię działania, w opracowanym systemie nie mogły być zastosowane istniejące czujniki i urządzenia transmisji danych. Z tego powodu

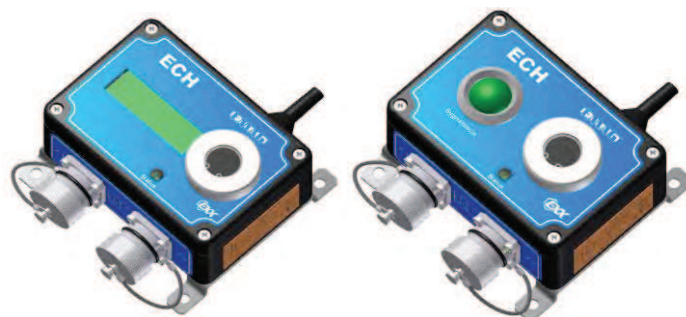
- 4) Calculating and monitoring the distribution of the aerodynamic potential field which is a very important parameter to assess the stability of a ventilation system (Bystron, 1999) through:
- making use of the results of the measurements of atmospheric pressure [Pa], velocity [m/s], temperature [°C], and relative humidity [%],
  - entering the value of the nodes depth [m] (to RCD) into the algorithm which enables to calculate the value of aerodynamic potential in every node of the ventilation network monitored by the new system,
  - calculating the potential value in the node – based on appropriate algorithms – according to one of the variants (selected in a further stage of the project).
- 5) Monitoring the level of the rock-bump hazard (seismic activity of the rock mass) using data from a micro-network of geophones by detecting and recording seismic events and determining the energy of underground shocks.

On detecting (or predicting) any abnormal, critical or danger state the system has facilities to send adequate warning and/or messages to the underground and surface personnel.

## 5. UNDERGROUND SYSTEM EQUIPMENT

The system developed within the project has a distributed structure. It consists of a set of separate measuring stations which monitor the state of natural hazards in the most dangerous points of technological facilities as well as the operation status of mining machineries and equipment in longwalls and developments. The data collected in the measuring stations are sent to the district control centre located in the vicinity of the monitored object. Computer equipment installed in the district control centre allows current analysis and visualization of data as well as preparing forecasts of the hazard development in the form of short-term trends. Information of known or predicted increased risk situations can be broadcast in the monitored object area through a loudspeaking communication system. Selected information about the state of hazards can be transmitted to the surface (to the main control room), using a fiber optic transmission system. This kind of system design minimizes the cost of wiring needed for its building and operation.

Due to a completely different philosophy of operations, in comparison with currently produced hazard monitoring systems, no existing sensors and data transmission devices can be applied to the developed system. For this reason, it was necessary to develop



Rys. 2. Czujnik metanu ECH w dwóch wersjach wykonania  
Fig. 2. Two versions of the ECH methane sensor

konieczne było opracowanie kompletnego zestawu nowych urządzeń dołowych o konstrukcji uwzględniającej wymagania nowej koncepcji. Na zestaw ten składają się następujące przyrządy pomiarowe i transmisyjne:

### 1) Czujniki parametrów aerologicznych

Do pomiaru składu chemicznego i parametrów fizycznych powietrza kopalnianego w systemie prototypowym wykorzystano czujniki budowy iskrobezpiecznej kategorii  $i_a$ , które mogą pracować w atmosferze wybuchowej. Przystosowane są do zasilania napięciem o wartości znamionowej 12 V DC i wyposażone w interfejs przewodowy standardu CAN lub RS-485, który służy do komunikacji z monitorem stacji akwizycji danych w układzie magistralowym. Czujniki wymagające okresowej kalibracji wyposażone są w interfejs radiowy ZigBee 2.4 GHz. Interfejs ten, oprócz możliwości bezprzewodowej kalibracji, może także być wykorzystany do transmisji danych pomiarowych drogą radiową.

Zestaw czujników parametrów aerologicznych tworzą:

- czujniki gazometryczne typoszeregu Exx o jednolitej konstrukcji mechanicznej i elektronicznej. W skład typoszeregu wchodzi czujnik metanu ECH (Rys. 2) oraz czujniki do pomiaru innych parametrów ( $CO$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$ )
- przystosowane do wymagań systemu (zasilanie, sygnał wyjściowy) czujniki parametrów fizycznych AS-3CR (prędkość przepływu powietrza) i THP-2CR (ciśnienie bezwzględne wilgotność, temperatura).

### 2) Pulpit operatorski POP-2

Pulpit POP-2 (Rys. 3) jest urządzeniem iskrobezpiecznym kategorii  $i_a$  i umożliwia akwizycję, wizualizację i archiwizację danych z sieci iskrobezpiecznych czujników parametrów aerologicznych i technologicznych, wyposażonych w interfejs magistrali CAN lub RS485. Dane te przesyłane są do urządzeń transmisji danych z wykorzystaniem separowanego interfejsu RS485. W tej funkcji pulpit jest wykorzysta-

a complete set of new underground equipment whose construction takes into account the new concept requirements. The set consists of the following measurement and transmission apparatus:

### 1) Ventilation parameters sensors

To measure the chemical composition and physical parameters of mine air, the system uses intrinsically safe sensors with the  $i_a$  category which can work in explosive atmosphere. They are designed for power supply rated at 12V DC and are equipped with a standard CAN or RS-485 interface which is used to communicate with the data acquisition monitor station. The sensors that require periodic calibration come with a ZigBee 2.4 GHz wireless interface. This interface, in addition to wireless calibration, can also be used for transfer of measurement data by radio communication.

The set of ventilation parameters sensors consists of:

- Exx series of gas content sensors of a uniform mechanical and electronic design. The series comes with an ECH methane sensor (Figure 2) and sensors for measuring other air parameters ( $CO$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$ ).
- Physical parameters sensors AS-3CR (air velocity) and THP-2CR (absolute pressure, humidity, temperature) adapted to the requirements of the system (power supply, output signal).

### 2) Pop-2 operator desktop

The Pop-2 desktop (Fig. 3) is an intrinsically safe device with the  $i_a$  category which allows the acquisition, visualization and archiving of data from an intrinsically safe network of sensors which measure technological and ventilation parameters and are equipped with a CAN bus interface or RS485. These data are sent to the data transmission devices using an isolated RS485 interface. In this function, the desktop





Rys. 3. Pulpit operatorski POp-2  
Fig. 3. POp-2 operator desktop

tywany w systemie monitorowania i prognozowania zagrożeń, gdzie pełni rolę monitora lokalnych stacji akwizycji danych pomiarowych. W zależności od wersji oprogramowania i konfiguracji złączy może pracować (Rys. 1) jako monitor stacji pomiaru parametrów aerologicznych (PPA), metanometrycznych (PMS) lub technologicznych (MPT).

### 3) Zasilacz akumulatorowy EZA-1

Zasilacz akumulatorowy typu EZA-1 (Rys. 4) jest iskrobezpiecznym zasilaczem buforowym przeznaczonym do zasilania elektrycznych urządzeń iskrobezpiecznych wymagających stabilizowanego napięcia stałego 12 V w sytuacjach awaryjnych, gdy zasilanie sieciowe zostało wyłączone. W prototypowym systemie monitorowania i prognozowania zagrożeń jest wykorzystywany do buforowego zasilania monitorów (pulpitów operatorskich) i czujników stacji pomiarowych parametrów aerologicznych i metanometrycznych dla zapewnienia wymaganej przepisami autonomicznej pracy w okresach, gdy wyłączone jest zasilanie sieciowe.

is used in the new hazard monitoring and forecasting system where it works as a monitor in local data acquisition stations. Depending on the software and configuration of connectors, it can be used (Fig. 1) as a monitor of ventilation (PPA), methanometric (PMS) or technological (MPT) parameters measuring stations.

### 3) EZA-1 battery power supply

The EZA-1 (Fig. 4) battery power supply is a buffered, intrinsically safe power supply designed to power intrinsically safe devices requiring stabilized voltage of 12 V in emergency situations where the main power is switched off. In the prototype monitoring and hazard prediction system EZA-1 is used to power the monitors (operator desktop) and sensors of ventilation and methanometric parameters measuring stations to ensure the required provisions of autonomous operation when AC power is switched off.



Rys. 4. Zasilacz akumulatorowy EZA-1  
Fig. 4. EZA-1 battery power supply



Rys. 5. Górniczy komputer przemysłowy GKP-09  
 Fig. 5. GKP-09 mining industrial computer

#### 4) Górniczy komputer przemysłowy GKP-09

Górniczy komputer przemysłowy (Rys. 5) jest urządzeniem przeznaczonym do wizualizacji, rejestracji oraz sterowania procesem wydobywczym w kopalni węgla kamiennego. Komputer klasy IBM PC wraz z pozostałymi podzespołami zamknięty jest w ognioszczelnej osłonie i może pracować w środowiskach zaliczanych do stopnia a, b, c niebezpieczeństwa wybuchu metanu oraz klasy A lub B zagrożenia wybuchem pyłu węglowego. W systemie monitorowania i prognozowania zagrożeń komputer GKP-09 pełni rolę terminala i jest na schemacie systemu (Rys. 1) oznaczony symbolem TRCD. Wersja iskrobezpieczna komputera może służyć jako serwer rejonowego centrum dyspozytorskiego, zasilany podczas przerw w zasilaniu sieciowym z zasilacza akumulatorowego EZA-1.

#### 5) System transmisji

Urządzenia dołowe systemu monitorowania i prognozowania zagrożeń mogą współpracować z dowolnego typu systemem transmisji, wyposażonym w interfejs RS-485. W rozwiązaniu prototypowym zastosowano opracowany w ITI EMAG system typu  $\mu$ ZIST, zaprojektowany jako uniwersalny światłowodowy system transmisji o dużej przepustowości. System składa się z oddzielnych pod względem konstrukcyjnym i funkcjonalnym urządzeń, w terminologii systemu nazywanych modułami, z których można budować struktury komunikacyjne w układach ringu, struktury drzewiaste i mieszane o różnej wielkości, zależnie od potrzeb, upodobań i możliwości finansowych użytkownika.

#### 4) GKP-09 mining industrial computer

The GKP-09 mining industrial computer (Fig. 5) is designed for visualization, recording and control of underground mining processes. The IBM PC class computer, along with other components, is housed in an explosion proof enclosure and can operate in environments classified as level a, b, c of the methane explosion hazard, and Class A or B of the coal dust explosion hazard. The GKP-09 computer acts as a terminal in the system of hazards monitoring and forecasting and is indicated in the system diagram (Fig. 1) as TRCD. An intrinsically safe version of the computer can serve as a local control centre server, powered by the EZA-1 battery power supply during a power outage.

#### 5) Transmission system

The underground system equipment described above can operate with any type of transmission system that is equipped with an RS-485 interface. The  $\mu$ ZIST system used in the prototype solution of the new hazard monitoring system was developed as a versatile fiber optic transmission system with large capacity. It consists of separate modules which can be used to build a structure of ring-, tree- and mixed communication systems of different sizes, depending on the needs, preferences and financial possibilities of the user.

Obecnie dostępne są trzy moduły systemu  $\mu$ ZIST:

- podstawowy element systemu – moduł transmisyjny typu Mt-FSE, spełniający funkcję punktu koncentracji danych i węzła światłowodowej sieci szkieletowej,
- moduł interfejsów Mi-RS4 (zespół interfejsów RS-422/485),
- moduł radiowego punktu dostępowego ZG-1x.

W opracowaniu jest moduł interfejsów typu Mi-MT4 umożliwiający komunikację z urządzeniami obiektowymi za pomocą linii modemowych V.32/V.32bis/V.34/V34bis. Wraz z rozwojem systemu, w zależności od zapotrzebowania, zestaw ten może być uzupełniany o kolejne moduły i punkty dostępowe.

## 6. PODSUMOWANIE

---

Zmiany wprowadzone w nowym systemie monitorowania i prognozowania zagrożeń mają na celu poprawę bezpieczeństwa i wyników ekonomicznych górnictwa. Wprowadzenie proponowanych nowych rozwiązań technicznych umożliwiło bardziej dogłębne analizy parametrów bezpieczeństwa i monitorowania zagrożeń na najniższym poziomie struktury systemu, tj. w pobliżu czoła ściany. Oprócz funkcji automatycznego wyłączania urządzeń technologicznych w przypadku zagrożenia wybuchem, proponowany system wypracowuje i natychmiast wysyła do wszystkich zainteresowanych pracowników dane i wiadomości pozwalające im uniknąć bezpośrednich zagrożeń i związanych z nimi przestojów i ewakuacji pracowników.

## 7. UWAGI KOŃCOWE

---

Testy funkcjonalne systemu przeprowadzono w niegazowej kopalni Guido. Badania terenowe zostały wykonane w kopalni Bielszowice, zagrożonej wybuchami metanu. Te testy, oprócz sprawdzenia nowo zaprojektowanych przyrządów pomiarowych i sprzętu telekomunikacyjnego w bardzo trudnych warunkach prawdziwej kopalni, pozwoliły na przeprowadzenie badań w stanach nieustalonych metanu i innych gazów w ścianie, spowodowanych procesem produkcji węgla (praca kombajnu) i zakłóceniami środowiskowymi.

At the moment there are three modules of the  $\mu$ ZIST system:

- basic element of the system – MT-FSE main transmission module that acts as a point of data concentration and fiber-optic skeleton network node,
- Mi-RS4 interfaces module (for RS-422/RS-485 ports),
- ZG-1x radio access point module.

Another functional module, Mi-MT4, is being currently developed. It enables communication with field devices using modem lines V.32/V.32bis/V.34/V34bis. With the development of the system, this kit can be supplemented with other modules and access points depending on one's needs.

## 6. CONCLUSIONS

---

The changes proposed in the new system for hazards monitoring and prediction are aimed at improving the safety and economical effects of the mining industry. The introduction of the proposed new technical solutions enables to analyze safety parameters more extensively and to monitor hazards in the underground, on the lowest level of the system structure, i.e. close to the mining area or development headings face. Apart from the function of automatic turn-off of technological equipment in the case of an explosion danger, the system works out and immediately sends to all involved personnel the data and messages allowing them to avoid direct hazards and the related compulsory down-times and staff evacuation.

## 7. FINAL NOTES

---

Functional tests of the prototype system designed according to the new concept were carried out in a non-gassy mine Guido. Field tests are planned to continue in one of the coal mines endangered with methane and rock-bump hazards. These tests, apart from testing newly designed measuring instruments and communication equipment in very hard conditions of a real mine, make it possible to carry out research on transient states of methane and other gases emission within the longwall, caused by the coal production process (operations of a shearer) and environmental disturbances.

*Badania przedstawione w artykule zostały wsparte finansowo przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego jako projekt badawczy w latach 2007-2010.*

*The research outlined in the article has been supported by the Ministry of Sciences and Higher Education of Poland from science financial resources as a research project in the years 2007-2010.*

#### Literatura

#### References

1. *Bystroń H.*: Potencjały aerodynamiczne I wyznaczanie ich pól w sieciach wentylacyjnych kopalń, podsięciach i rejonach, Archiwum Górnictwa, Tom 44, nr 1, 1999, str. 23-69.
2. *Isakow Z.*, 2005: Kontrola zagrożeń sejsmicznych w kopalniach w systemach opracowanych przez Centrum EMAG, Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa 2005, nr 5, Katowice, str. 41-46.
3. *Krzystanek Z., Wojtas P., Bojko B., Isakow Z.*: Zintegrowany system monitorowania zagrożeń naturalnych w kopalniach, Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa 2004, nr 9, Katowice, str. 18-25.
4. *Krzystanek Z., Bojko B., Trenczek S., Wojtas P.*: New Concept of Environmental Hazard Monitoring in Coal Mines, Proceedings of the 9th International Mine Ventilation Congress, New Delhi, 10-13 November 2009, str. 959-965.
5. *Krzystanek Z.*: System monitorowania i prognozowania zagrożeń w ścianach i przodkach kopalń węgla kamiennego o wysokiej koncentracji wydobywania, Projekt badawczy Nr E13943, Raport końcowy, Katowice 2010.
6. *Sikora M., Krzystanek Z., Bojko B., Śpiechowicz K.*: Hybrid adaptive system of gas concentration prediction in hard-coal mines, Proceedings of the 19<sup>th</sup> International Conference on System Engineering, 19-21 August 2008, Las Vegas, Nevada, pp. 159-164.
7. *Sikora M., Krzystanek Z., Bojko B., Śpiechowicz K.*: Moduł czyszczenia i agregacji jako komponent systemu predykcji stężenia gazów w kopalniach węgla kamiennego, Materiały konferencji EMTECH, Ossa k. Rawy Mazowieckiej, 10-13 maja 2009, str. 175-182.
8. *Trenczek S.*: Automatyczna aerometria w kontroli zagrożeń wentylacyjnych, Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa 2005, nr 3, str. 11-20.
9. *Wasilewski S., Isakow Z., Krzystanek Z.*: Monitorowanie zagrożeń naturalnych w polskich kopalniach głębinowych. Materiały 1. Seminarium Instytutu, Centrum EMAG, Katowice 2005.

1. *Bystroń H.*, 1999: Aerodynamic potentials and a designation of their fields in mine ventilation networks, sub-networks and districts, Archives of Mining Sciences, Volume 44, 1999, Issue 1, pp. 23-69 (in Polish).
2. *Isakow Z.*, 2005: Assessment of seismic hazards in mines, in the systems developed by the EMAG Centre, Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa, Issue No 5, Katowice, pp. 41-46 (in Polish).
3. *Krzystanek Z., Wojtas P., Bojko B., Isakow Z.*, 2004: Integrated system for monitoring environmental hazards in mines, Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa, Issue No 9, pp.18-25 (in Polish).
4. *Krzystanek Z., Bojko B., Trenczek S., Wojtas P.*, 2009: New Concept of Environmental Hazard Monitoring in Coal Mines, Proceedings of the 9th International Mine Ventilation Congress, New Delhi, 10-13 November 2009, pp. 959-965.
5. *Krzystanek Z.*, 2010: System for Monitoring and Prediction of Hazards Arising in Longwalls and Headings of High Output Deep Coal Mines, Research project No E13943, Final Report (in Polish).
6. *Sikora M., Krzystanek Z., Bojko B., Śpiechowicz K.*, 2008: Hybrid adaptive system of gas concentration prediction in hard-coal mines, Proceedings 19th International Conference on System Engineering, Nevada University Las Vegas, pp. 159-164.
7. *Sikora M., Krzystanek Z., Bojko B., Śpiechowicz K.*, 2009: Cleaning and aggregating software module as a component of the system for gas concentration prediction in coal mines, Proceedings EMTECH Conference on Automation and Information Technology in Mining Industry, pp. 175-182 (in Polish).
8. *Trenczek S.*, 2005: Automatic mining aerometrics to control ventilation hazards, Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa, Issue No 3, pp. 11-20 (in Polish).
9. *Wasilewski S., Isakow Z., Krzystanek Z.*, 2005: Monitoring of environmental hazards in Polish deep mines. Proceedings of the 1st Seminar of the ZINT Institute, Centrum EMAG, Katowice (in Polish).

*Recenzent: dr inż. Jerzy Mróz*

#### НОВЫЙ ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ МОНИТОРИНГА ПРИРОДНЫХ УГРОЗ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Представлены результаты исследований и разработки, связанные с созданием новой системы, относящейся к категории систем безопасности. Она обеспечивает мониторинг и прогнозирование угроз вентиляции, источником которой является горнодобывающая деятельность в забоях и проходческих участках угольных шахт с высокой производительностью. Суть проекта в том, что анализ параметров, характеризующих уровень опасных природных явлений в большинстве случаев, в настоящее время, находится в отрыве от информации о процессе производства, состоянии машин и оборудования. Тем временем, в шахтах, процесс использования высокоэффективных технологий добычи оказывает наибольшее влияние на уровень, и, прежде всего на динамику вентиляции, приводящих к образованию аварийных состояний (принудительное отключение электрической энергии), критических или катастрофических. Это подтверждается анализом данных полученных от систем мониторинг параметров безопасности, установленных на польских шахтах. Из этого можно сделать вывод, что в шахтах с высокой производительностью добычи, безопасность не может рассматриваться как независимое понятие. В самом деле, она является неотъемлемой частью производственного процесса, а ее уровень зависит не только от природных факторов, но и от состояния машин, а также проведения и контроля технологического процесса добычи угля. В статье представлена новая концепция системы мониторинга опасных природных явлений в добычных забоях шахты, кратко описываются функции для реализации прототипа системы, а также выбор шахтного оборудования.