

# Opracowanie wskaźnika zagrożenia pożarowego na podstawie analizy produktów rozkładu termicznego pianki fenolowej

## Compiling the indicator of a fire hazard on the basis of the analysis of products of the thermal decomposition of phenolic foam

*W artykule podjęto próbę rozszerzenia stworzonego w projekcie europejskim EDAFFIC [5] modelu matematycznego wskaźnika zagrożenia pożarem środków chemicznych stosowanych w wyrobiskach kopalń podziemnych. Dane zostały pozyskane w oparciu o monitorowanie wielu parametrów charakterystycznych dla procesu palenia. Opracowany model matematyczny wskaźnika takiego zagrożenia pożarowego pozwala na wykrycie i ocenę stadium rozwoju zagrożenia pożarem, zanim przejdzie on w otwarty ogień. Wskaźnik powstał na podstawie wyników badań rozkładu termicznego jednej z wielu rodzajów pianek fenolowo-formaldehadowych stosowanych w kopalniach podziemnych do uszczelniania, wypełniania pustek i innych tego rodzaju prac. Badania zostały przeprowadzone w sztolni próbnej Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego w Bytomiu.*

*In the article, one has made an attempt of making the extension of the mathematical model of the indicator of fire of chemicals applied in the underground mine workings, developed in the EDAFFIC European project [5]. Data was compiled on the basis of monitoring many parameters characteristic of the process of burning. The compiled mathematical model of the indicator of such fire hazard allows for the evaluation of the early appearance of fire in its initial period of development, before it will change into a naked flame. This indicator was compiled on the basis of the results of the thermal decomposition examinations of the one of many kinds of phenolic-formaldehyde foams applied in the underground mines for sealing, filling emptinesses and works of this kind. Examinations were conducted in the test adit of the Central Mines Rescue Station /jsc/ in Bytom.*

### 1. WSTĘP

---

Podstawowe zastosowania pian w górnictwie to: wypełnianie wyrw i pustek, uszczelnianie ociosów i stropu chodników oraz innych wyrobisk, wykonywanie i uszczelnianie tam izolacyjnych oraz wentylacyjnych, uszczelnianie zrobów poeksploatacyjnych

### 1. INTRODUCTION

---

The basic use of foams in mining are: filling rifts and emptinesses, sealing sidewalls and ceiling of drifts and other mine workings, making and sealing the isolation and ventilation dams, sealing after-exploitative gaps in order to lower the risk of

w celu zmniejszenia zagrożenia samozapłonem, uszczelnianie silnie spękanego górotworu w celu likwidacji zagrożenia pożarowego, ograniczenie skłonności węgla do samozapalenia przez dezaktywację jego powierzchni, wypełnianie zer podsadzkowych, termoizolacja wyrobisk w strefach o podwyższonej temperaturze górotworu itp. Wykorzystuje się je w profilaktyce pożarowej i metanowej w celu poprawy bezpieczeństwa lub zwiększenia postępu robót.

Ze względu na zastosowane do produkcji surowce można podzielić piany na organiczne (na bazie żywic fenolowo-formaldehydowych, mocznikowo-formaldehydowych i krzemianowych) oraz nieorganiczne (na bazie cementów) [8].

Piany organiczne stosowane są najczęściej jako dwuskładnikowe systemy chemoutwardzalne o dużej szybkości spieniania i utwardzania. Rozróżnia się dwa mechanizmy wytwarzania pian: chemiczny i fizyczny. W pierwszym przypadku czynnikiem spieniającym jest dwutlenek węgla powstający w wyniku reakcji chemicznej pomiędzy składnikami systemu, w drugim – sprężone powietrze, mieszane zwykle z jednym z komponentów systemu.

W obecnym czasie w górnictwie stosowane są pianki organiczne fenolowe, mocznikowo-formaldehydowe, krzemianowe. Najważniejsze, istotne dla bezpiecznego stosowania w wyrobisku górniczym, właściwości tych pian to ich trudnopalność, antystatyczność i nietoksyczność [8]. Jednak niektóre z nich mogą stanowić zagrożenie pożarowe, np. pianki poliuretanowe, o czym świadczą zdarzenia zaistniałe w kopalniach francuskich, niemieckich i polskich [14, 13].

Do omawianych w artykule badań wykorzystano gotowe próbki pianki fenolowo-formaldehydowej typu *Ekoflex*. W ramach badań zostały one poddane próbom cieplnym. Wykonano dwa testy na dwóch różnych stanowiskach badawczych. Podczas tych testów obliczono wskaźnik wczesnego wykrycia zagrożenia pożarowego  $W_p$  i wyznaczono kryteria oceny poziomu tego sygnału dla:

- stanu normalnego,
- stanu ostrzegawczego,
- stanu alarmu,
- pożaru.

Założono, że zadaniem wskaźnika zagrożenia pożarem środków chemicznych, nazywanego dalej wskaźnikiem zagrożenia pożarowego, jest wczesne wykrycie objawów pożaru w jego początkowym stadium, zanim przejdzie on w fazę rozgrzewania, trudną do zlokalizowania w początkowej fazie.

self-ignition, sealing strongly cracked in rock mass in order to liquidate a fire hazard, limiting the tendency of coal to the self-ignition by the deactivation of its area, filling zero goafs, thermal insulation of mine workings in zones with the increased temperature of rock mass and the like They are used in the fire and methane prevention, in order to improve the safety or increase the progress of works.

From a point of view of raw materials used to the production of foams, it is possible to divide them into organic foams (on the basis of phenol-formaldehyde, urea-formaldehyde and silicate resins) and inorganic (on the basis of cements) [8].

Organic foams, applied most often as two-component chemo-hardenable systems with the high speed of frothing and hardening. Two mechanisms of creating foams are distinguished: chemical and physical. In the first case, a carbon dioxide coming into existence as a result of a chemical reaction between elements of the system, is a frothing factor. In the second case, a compressed air, usually mixed with one of the components of the system, is a frothing factor.

Today, phenol organic, urea-formaldehyde, silicate foams are applied in the mining. Most important, essential for a safe application in the mine working, properties of these foams, are their slow-burning-ness, anti-statics and non-toxic-ness [8]. However, some of them can constitute a fire hazard, e.g. polyurethane foams, what is testified by events that has taken place in French, German and Polish mines [14, 13].

For examinations, discussed in the article, one has used the ready samples of phenol-formaldehyde foam of *Ekoflex* type. As part of examinations, they were subjected to thermal tests. Two tests were carried out on two different research positions. During these tests, a rate of the early detection of a  $W_p$  fire hazard was calculated as well as one has made the criteria of assessment of the level of this signal for:

- normal state,
- warning state,
- alarm state,
- fire.

They supposed, that the task of the indicator of the risk of fire of chemicals, hereinafter referred to as the indicator of a fire hazard, is an early detection of the symptoms of fire in his initial period of development, before it will go into phase of heating up, difficult to locate in the initial phase.

## 2. WSKAŹNIK ZAGROŻENIA POŻAROWEGO

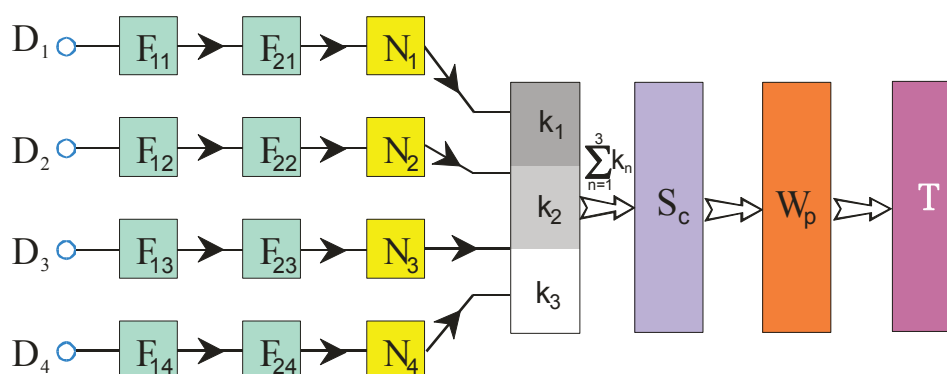
W ramach prac [5] nad systemem wczesnego wykrywania zagrożenia pożarowego, prowadzonych w czasie realizacji projektu o akronimie EDAFFIC, opracowano model matematyczny wskaźnika wczesnego wykrycia zagrożenia pożarowego  $W_p$ .

W zależności od tego, gdzie wykonywane są obliczenia, można zastosować:

- wskaźnik zagrożenia pożarowego uproszczony, obliczany przy użyciu czujnika wieloparametrowego [2, 3, 11, 10],
- wskaźnik zagrożenia pożarowego rozszerzony, obliczany w stacji centralnej systemu wykrywania [9, 1].

Wskaźnik zagrożenia pożarowego obliczany przez czujnik wieloparametrowy zależy od podłączonych czujników dodatkowych, a szczególności – czujnika dymu (więcej w p. 3. artykułu). Wskaźnik ten określa prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia związanego z pożarem w danym rejonie (miejscu pomiaru). Opracowany model matematyczny wskaźnika zagrożenia pożarowego wykorzystuje uśrednione wartości sygnałów, które wcześniej są poddane filtracji i normalizacji.

Na rys. 1. przedstawiono schemat blokowy matematycznego modelu wskaźnika zagrożenia pożarowego – znaczenie zastosowanych w nim poszczególnych symboli literowych omówiono poniżej.



Rys. 1. Schemat blokowy matematycznego modelu wskaźnika zagrożenia pożarowego [5]

Fig. 1. Flow diagram of the mathematical model of the indicator of a fire hazard [5]

### **DK – pomiary parametrów gazowo-dymowych**

Pomiary są realizowane przez detektory tlenu węgla, cyjanowodoru oraz dodatkowych czujników, takich jak czujnik dymu i czujnik przyrostu temperatury, w miejscach określonych na podstawie wcześniejszych badań i obliczeń. Zakresy detektorów wymaganych do określenia wskaźnika zagrożenia pożarowego są następujące:

## 2. INDICATOR OF A FIRE HAZARD

In frames of works [5] on the system of the early detection of a fire hazard realised in the project entitled the EDAFFIC acronym, one has developed the mathematical model of the indicator of the early detection of a  $W_p$  fire hazard.

Depending on the fact, where calculations are performed, it is possible to apply:

- indicator of a fire hazard, simplified, calculated with the use of the multi-parameter sensor [2, 3, 11, 10],
- indicator of a fire hazard, extended, calculated in the central station of the detection system [9, 1].

Rate of a fire hazard calculated in the the multi-parameter sensor depends on the connected additional sensors, and particularly of a smoke detector (more in pt 3 of the article). This indicator determines the probability of the risk associated with the fire in the given area (measuring site). The developed mathematical model of the indicator of a fire hazard is using the averaged values of signals, which are earlier subjected to the filtration and normalisation.

In picture 1, one has presented a flow diagram of the mathematical model of the indicator of a fire hazard, in which meaning of particular letter symbols is discussed below.

### **DK – measurements of gas-smoke parameters**

Measurements are carried out by detectors of the carbon monoxide, hydrocyanic acid and additional sensors, such as a smoke detector and sensor of the increase in temperature in the places determined on the basis of the previous research and calculations. Ranges of detectors required for determining the rate of a fire hazard are following:

- sygnał z czujnika CO w zakresie  $0 \div 1000$  ppm,
- sygnał z czujnika HCN w zakresie  $0 \div 200$  ppm,
- sygnał z czujnika przyrostu temperatury CPT w zakresie  $0 \div 10^\circ\text{C}$ ,
- sygnał z czujnika dymu w zakresie  $0 \div 100\%$ .

#### ***F1K – eliminacja sygnałów uszkodzenia toru pomiarowego***

W systemie ciągłego monitorowania wczesnego zagrożenia pożarowego mogą występować sytuacje uszkodzeń torów pomiarowych, co z kolei może istotnie wpływać na nieprawidłową ocenę stanu zagrożenia. Eliminacji poddane były błędy, które w znaczący sposób odbiegały od wartości trendu. Dodatkowo błędy transmisji powstające pomiędzy komorą pomiarową a jednostką centralną czujnika są weryfikowane na podstawie sumy kontrolnej. Niezgodność sumy kontrolnej powoduje usunięcie wyniku pomiarowego i zastąpienie go ostatnim ważnym pomiarem.

#### ***F2K – filtracje sygnałów analogowych z poszczególnych detektorów***

Zadaniem filtracji wstępnej jest minimalizacja zakłóceń oddziałujących na pomiary. Wykorzystano tutaj wygładzanie wykładnicze z współczynnikiem tłumienia zależnym od szumu zakłócającego pomiar. Przyjęto, że bieżąca prognoza korygowana jest w zależności od skali okna pomiarowego.

#### ***NK – normalizowanie sygnałów do wspólnego wskaźnika stanu zagrożenia***

Blok normalizacji  $N_K$  pośredniczy między detektorami pomiarowymi a blokiem przetwarzania i obliczania wspólnego wskaźnika stanu zagrożenia pożarowego. Jego zadaniem jest zbieranie sygnałów pomiarowych i przekształcenie ich na postać cyfrową. W bloku tym wykonywana jest wstępna normalizacja sygnału (często nazywana kondycjonowaniem sygnału). Zastosowana tutaj technika kondycjonowania sygnału pomiarowego (zwana także przetwarzaniem, dostosowywaniem lub poprawianiem sygnału) służy do przekształcania, wzmacniania lub izolowania sygnału przesyłanego z jednego urządzenia do drugiego i przygotowania go do użycia na kolejnym etapie procesu. Podstawową funkcją normalizacji sygnału pomiarowego jest pobieranie wejściowego sygnału z detektorów (prądowego lub napięciowego), a następnie podawanie proporcjonalnego sygnału w żądanym analogowym formacie wyjściowym, tak aby obliczane prawdopodobieństwo wystąpienia pożaru było na równym poziomie dla wszystkich sygnałów pomiarowych.

- signal from the CO sensor in range  $0 \div 1000$  ppm,
- signal from the HCN sensor in range  $0 \div 200$  ppm,
- signal from the sensor of the increase in CPT temperature in range  $0 \div 10^\circ\text{C}$ ,
- signal from a smoke detector in range  $0 \div 100\%$ .

#### ***F1K – Elimination of signals of the damage of the measuring line***

In the system of constant monitoring of the early fire hazard can take place situations of the damage to measuring lines, what can relevantly influence the evaluation of a danger situation (wrong one). Mistakes, which in the significant way diverged from the value of trend, were subjected to elimination. Additionally, mistakes of transmission that developed between the measurement chamber and the central processing unit of the sensor, are verified on the basis of the checksum. Incompatibility of the checksum results in removing the measuring result and replacing it with the last valid measurement.

#### ***F2K – Filtrations of analog signals from the particular detectors***

A minimization of disruptions having an influence on measurements is a task of the preliminary filtration. One has used here the exponential smoothing with the rate of suppressing, depending on the noise disrupting the measurement. It was assumed that the current forecast is corrected depending on the scale of the measuring window.

#### ***NK – Normalizing signals for the shared indicator of the state of emergency***

The block of  $N_K$  normalisation is mediating between measuring detectors and the block of processing and calculating the shared indicator of the state of a fire hazard. Its task is to collect the measuring signals and transform them into the digital form. In this block, a preliminary normalisation of the signal is carried out (often called conditioning of the signal). Technique of conditioning of the measuring signal applied here (called also processing, adapting or correcting the signal) serves to transforming, strengthening or isolating the transmitted signal from one device to the second one and preparing it for the use on the next stage of process. Taking the input signal from detectors is a basic function of the normalisation of the measuring signal (power or tension-driven), and then, giving the proportional signal in the demanded analogue initial format in such a way, that the estimated probability of the appearance of fire is on the same level for all measuring signals.

***kn – określenie poszczególnych wag sygnałów zmierzonych dla wyznaczenia wspólnego wskaźnika wczesnego zagrożenia pożarowego***

W celu jak najszybszego wykrycia zagrożenia pożarowego określono wagę dla poszczególnych modułów złożonych z przefiltrowanych i poddanych normalizacji sygnałów pomiarowych. Suma wag  $k_n$  zawsze wynosi 1:

$$k_1 + k_2 + k_3 = 1 \quad (1)$$

gdzie:  $k_1, k_2, k_3$  – współczynniki udziału (wagi) wskaźników pożarowych: gazowo-dymowego oraz termicznego.

***Sc – wzmocnienie sygnału wspólnego w zależności od źródła stanowiska badawczego***

Sygnały mierzone przez detektory traktowane są jako niezależne w zakresie zakłóceń. Pozwala to zgodnie z zasadami procesów stochastycznych obliczać pewne wartości wspólne przebiegów o wariancjach (odchyleniach standardowych) zdecydowanie mniejszych, uzależnionych od ilości sygnałów niezależnych.

Pomiary parametrów przez czujnik wielodetektorowy są wykonywane w cyklu 0,6 sekundy, natomiast okres rozwoju pożaru przenośnika to kilkanaście do kilkadziesiąt minut. Relatywnie duża częstotliwość pomiarów powoduje, że można oceniać stan zagrożenia pożarowego na podstawie dużej liczby zarejestrowanych danych. Dla oceny charakteru przebiegu poszczególnych parametrów mierzonych i eliminacji zakłóceń chwilowych stosowane jest często uśrednianie w określonym przedziale czasu. Dlatego w zależności od odległości od miejsca szczególnie narażonego na pożar dodano współczynnik wzmocnienia sygnału wspólnego.

***Wp – obliczanie wspólnego wskaźnika zagrożenia***

Na podstawie wyników badań palenia próbek taśmy w projekcie EDAFFIC [5, 12] opracowano kryteria oceny pojedynczych sygnałów i wskaźników dla wyznaczania stanów zagrożenia pożarowego. W przypadku badań palenia innych materiałów, takich jak pianki poliuretanowe, zastosowano (2) sumę średnich arytmetycznej i geometrycznej oraz znormalizowany sygnał przyrostu temperatury z wagą  $k_3 = 0,4$ .

$$W_p = s_c \cdot \left( k_1 \cdot \frac{\bar{x}_{CO} + \bar{x}_{HCN} + \bar{x}_D}{3} + k_2 \cdot \sqrt{\frac{(\bar{x}_{CO})^2 + (\bar{x}_{HCN})^2 + (\bar{x}_D)^2}{9}} + k_3 \cdot (\bar{x}_T) \right) \quad (2)$$

Kryteria oceny poziomu sygnału wspólnego wskaźnika zagrożenia określono następująco:

- stan normalny: 0,00-0,20;
- stan ostrzegawczy: 0,21-0,50;
- stan alarmu: 0,51-0,80;
- pożar: 0,81-1,00.

***kn – Determining particular values of signals measured for appointing the shared indicator of the early fire hazard***

For the fastest detection of a fire hazard, one has determined the value of measuring signals for particular modules made of filtered and surrendered to standardization measuring systems. The sum of  $k_n$  values always amounts 1.

where:  $k_1, k_2, k_3$  – rates of the participation (value) of fire indicators: gas-smoke and thermal.

***Sc – Reinforcement of the shared signal, depending on the source of the research position***

Signals measured by detectors are treated as independent in disruptions. It allows to calculate certain shared values of processes, with a definitely smaller variance (standard deviations), dependent on the amount of independent signals, according to the principles of stochastic processes.

Measurements of parameters performed by the multi-detector sensor are made in the cycle of 0.6 second, and the period of development of fire of the transporter is a dozen or so, up to several dozen minutes. Relatively great frequency of measurements causes, that it is possible to make decisions about the state of a fire hazard (detections) on the basis of the substantial amount of registered data. For the evaluation of character of the process of particular measured parameters and elimination of temporary interferences, one is often applying the averaging in the determined time interval. That is why, depending on the distance from the place that is especially exposed to the fire, one has added the amplification factor of the shared signal.

***Wp – Calculating the shared indicator of the risk***

On the basis of results of burning the samples of the tape in the EDAFFIC project [5, 12], one has developed the evaluation criteria of individual signals and indicators for appointing states of a fire hazard. In case of examinations of burning other materials, such as polyurethane foams, one has applied (2) sum of average arithmetical, geometrical and standardized signal of the increase in the temperature with the value  $k_3 = 0,4$ .

Evaluation criteria of the level of signal of the shared indicator of risk were determined as follows:

- normal state 0,00-0,20;
- warning state 0,21-0,50;
- alarm state, 0,51-0,80;
- fire 0,81-1,00.



### *T – wizualizacja lub transmisja do centrali stanu zagrożenia*

Wyniki obliczeń wskaźnika zagrożenia pożarowego sygnalizowane są lokalnie za pomocą wyświetlacza oraz optycznie za pomocą sygnalizatora (czerwona dioda LED). Wszystkie dane oraz obliczony chwilowy wskaźnik zagrożenia pożarowego przesyłane są do centrali na powierzchni w systemie monitorowania.

Dodatkowo w centrali na powierzchni można przetworzyć sygnały i informacje z detektorów oraz czujników dodatkowych, wykorzystując modele oparte na logice rozmytej [9]. Pozwala to w szerszym stopniu ocenić zagrożenie oraz lokalizację miejsca pożaru.

## 3. SYSTEM POMIAROWY

Do pomiarów parametrów gazowo-dymowych podczas testów wykorzystano czujnik wielodetektorowy oraz minicentralkę MCCD-01, których dane pomiarowe przesyłane były do systemu telemetrycznego SMP-NT/A [4].

### 3.1. Czujnik wielodetektorowy

Czujnik wielodetektorowy (wieloparametrowy) DWP-1 [10, 2] (rys. 2) jest urządzeniem stacjonarnym do wczesnego wykrywania pożaru na wybranym odcinku przenośnika taśmowego, reagującym na kolejne fazy rozwoju pożaru.

### *T – Visualisation or transmission to the central office of the state of emergency*

Results of calculations of the indicator of a fire hazard are locally signalled with the display and optically with the indicator (red LED diode). All data and the calculated temporary rate of a fire hazard are sent to the central office on the surface in the monitoring system.

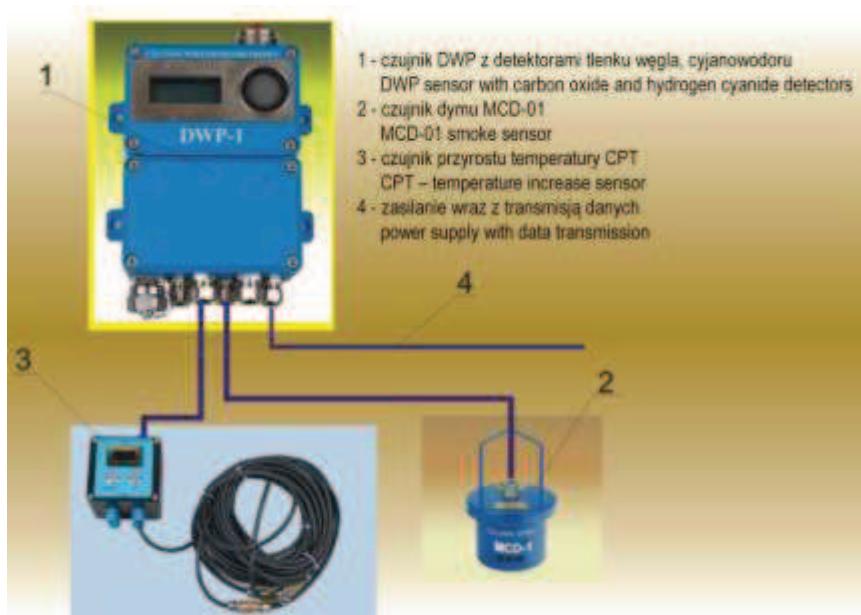
Additionally, in the central office on the surface, it is possible to process signals and information from detectors and additional sensors using the models based on the fuzzy logic [9]. It will let, in the wider degree, to assess the risk and location of the place of fire.

## 3. MEASUREMENT SYSTEM

For measurements of gas-smoke parameters during tests, one has used a multidetector sensor and MCCD-01 mini-central office, which measuring data was transmitted to the SMP-NT/A telemetric system [4].

### 3.1. Multidetector sensor

DWP-1 multidetector sensor (multiparameter) [10, 2] (pic. 2) is a stationary device for the early detection of fire on the chosen section of the conveyor belt, reacting to the consecutive development phases of fire.



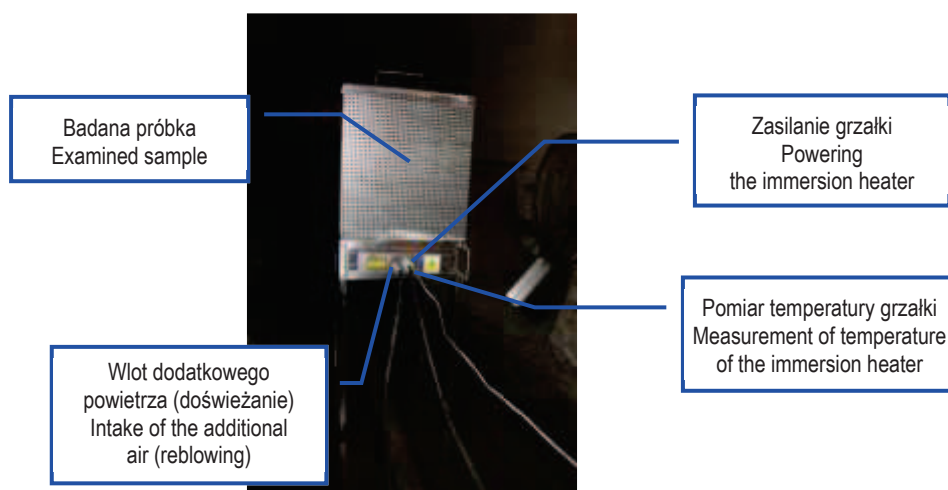
Rys. 2. Czujnik wielodetektorowy – schemat połączeń urządzeń dodatkowych [1]

Fig. 2. Multidetector sensor – diagram of connecting additional devices [1]

W czujniku zainstalowane są: detektor tlenku węgla (CO), detektor cyjanowodoru (HCN) oraz tzw. komora KHT, która dokonuje pomiaru temperatury, wilgotności i ciśnienia. Dodatkowo istnieje możliwość podłączenia dwóch czujników analogowych w wykonaniu przeciwwybuchowym iskrobezpiecznym Ex ia, których wyniki wspomogą określenie wystąpienia zagrożenia pożarowego, a po szybkiej analizie – prawdopodobnego miejsca wystąpienia pożaru. Najbardziej efektywne w kwestii określenia prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia pożarowego lub pożaru są: czujnik dymu i czujnik przyrostu temperatury.

### 3.2. Stanowisko badawcze nr 1

Rys. 3. przedstawia widok komory spalania przeznaczonej do symulacji procesu samozagrzewania i zapalenia węgla, zaprojektowanej w ramach projektu europejskiego MINFIREX [6].



Rys. 3. Widok stanowiska badawczego nr 1 [6]  
Fig. 3. Presentation of the research stand No. 1 [6]

Urządzenie wykonane zostało w postaci skrzynki ze stali nierdzewnej o wymiarach 400x400x400 mm z blachy perforowanej o średnicy otworów 6 mm, umożliwiającym dopływ powietrza do testowanej próbki.

Przeprowadzone testy palenia próbki pianki poliuretanowej na stanowisku badawczym nr 1 symulowały parametry występujące na dole kopalni, gdzie aplikowane są materiały organiczne. Materiał badany (pianka *Ekoflex*) umieszczono centralnie nad grzałką elektryczną. Pomiar temperatury grzałki dokonywany był za pomocą termopary umieszczonej w środku elementów grzejnych. Dodatkowo zamontowano wlot powietrza ze sprężarki tak, aby ciepło z grzałek mogło zostać równomiernie rozprowadzone.

In the sensor one has installed a detector of the carbon monoxide (CO), detector of the hydrocyanic acid (HCN) and so-called KHT chamber, which is effecting the measurement of temperature, humidity and pressure. Additionally, there is a possibility of connecting two analogue sensors in the Ex ia sparkproof explosion-proof performance, which results will assist determining the appearance of a risk of fire, and after the rapid analysis, the probable place of appearance of fire. The most effective way of determining the probability of appearance of a fire hazard or fire are: smoke detector and sensor of the increase in the temperature.

### 3.2. Research stand No. 1

Picture 3 is showing the view of a combustion chamber for the simulation of process of self-overheat and inflammation of coal, designed in the MINFIREX European project [6].

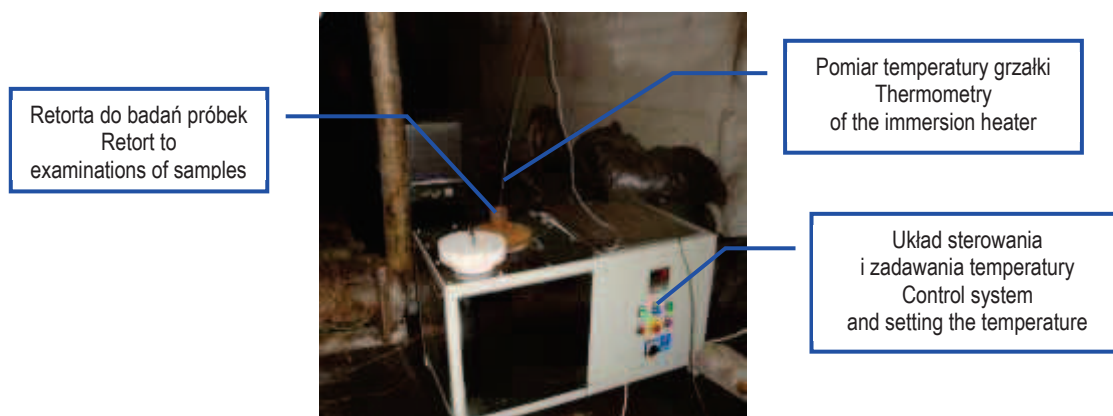
The device was made in the form of the box of a stainless steel, with the dimensions of 400x400x400 mm, of the perforated metal sheet, with the diameter of holes of 6 mm, enabling the inflow of air to the tested sample.

Conducted tests of burning the sample of polyurethane foam on the research stand No. 1 simulated parameters appearing at the bottom of mine, where organic materials are applied. Studied material (*Ekoflex* foam) was put centrally above the electric immersion heater. The measurement of temperature of the immersion heater was effected with the thermocouple put in the centre of heating elements. Additionally the air intake from the compressor was installed, so that the warmth from immersion heaters could be evenly distributed.

Stanowisko to symulowało termiczny rozkład pianki w kontakcie z calizną węglową, tamą izolacyjną i wentylacyjną lub uszczelnionymi zrobami poeksploatacyjnymi. Kontakt węgla z pianką pozwolił ocenić zagrożenie pożarowe na podstawie wydzielanych produktów rozkładu termicznego pianki.

### 3.3. Stanowisko badawcze nr 2

Na rys. 4. przedstawiono stanowisko badawcze nr 2, które zostało opracowane w ramach projektu „Zintegrowane stanowisko do koksowania próbek i kompleksowego badania koksu” [7].



Rys. 4. Stanowisko badawcze nr 2 wykorzystane do spalania próbki badanej pianki [7]  
Fig. 4. Research stand No. 2 used for burning the examined sample of foam [7]

Jest to urządzenie do koksowania węgla i badania wskaźników koksu. Posiada dwustrefowy cylindryczny układ grzejny, do którego wkłada się retortę wykonaną ze stali. W retorcie umieszcza się próbkę węgla, koksu lub innego materiału, który będzie poddany rozkładowi termicznego. Stanowisko składa się z części grzewczej oraz części sterowania. Część sterowania służy do ustawiania zadawanej temperatury i regulacji pracy grzałek zainstalowanych w części grzewczej i oddzielonych izolacją termiczną. W sekcji grzewczej osiąga się równomierny rozkład temperatury do 1200°C z dokładnością sterowania do 0,1°C i dokładnością pomiarową temperatury zgodną z zastosowanymi termoparami typu S.

## 4. BADANIA PRÓBEK PIANKI FENOLOWO-FORMALDEHYDOWEJ

Do rejestracji wyników pomiarów uzyskanych podczas testów spalania próbek pianki wykorzystano czujniki DWP-1 połączone do systemu SMP-NT/A oraz stanowiska badawcze [7, 6]. Do stanowiska badawczego nr 2 połączone zostały także termopary ze stanowiska badawczego nr 1.

This stand simulated the thermal decomposition of foam in the moment of contact with undisturbed soil coal, insulating and ventilation dam or sealed after-exploitative gaps. The contact of coal with foam let to assess a fire hazard on the basis of released products of the thermal decomposition of foam.

### 3.3. Research stand No. 2

In picture 4, one has presented a research stand No. 2, which was developed as part of the project entitled "Integrated stand to coke the samples and make the comprehensive examination of coke" [7].

This device is made to coke the coal and examine the indicators of coke. It has the two-zone cylindrical heating system, to which one is putting the retort made of steel. The sample of coal, coke or other material, which will be subjected to the thermal decomposition is put in the retort. The stand consists of the heating part and the part of control. The part of control is used to set the given temperature and regulate the work of immersion heaters put in the heating part and separated with thermal insulation. In the heating section, one is achieving the even temperature distribution, up to 1200 °C, with the accuracy of control, up to 0.1 °C and with measuring accuracy of the temperature compatible with the applied thermocouples of the S type.

## 4. EXAMINATION OF THE PHENOL-FORMALDEHYDE SAMPLES FOAM

For the registration of results of measurements during tests of burning the samples of foam, one has used the DWP-1 sensors connected to the SMP-NT/A system and research stands [7, 6]. To the research stand No. 2 one has also conneted the thermocouples from the research stand No. 1.



#### 4.1. Badania pianki typu *Ekoflex*

*Ekoflex* to dwuskładnikowa piana, otrzymywana przez zmieszanie składnika wodnego roztworu żywicy fenolowo-formaldehydowej oraz roztworu kwasów organicznych i nieorganicznych w stosunku objętościowym 4:1.

Pianki fenolowe (rys. 5) wykorzystane do badań zostały rozdrobnione na części o wymiarach sześcianu o bokach 10 cm (test nr 1) i walca 23 x  $\phi$  10 cm (test nr 1 i 2) oraz umiejscowione w stanowiskach badawczych. W stanowisku badawczym nr 2 próbka pianki włożona została do retorty metanowej, która umieszczona została centralnie w piecu nagrzanym wstępnie do temperatury 500°C.

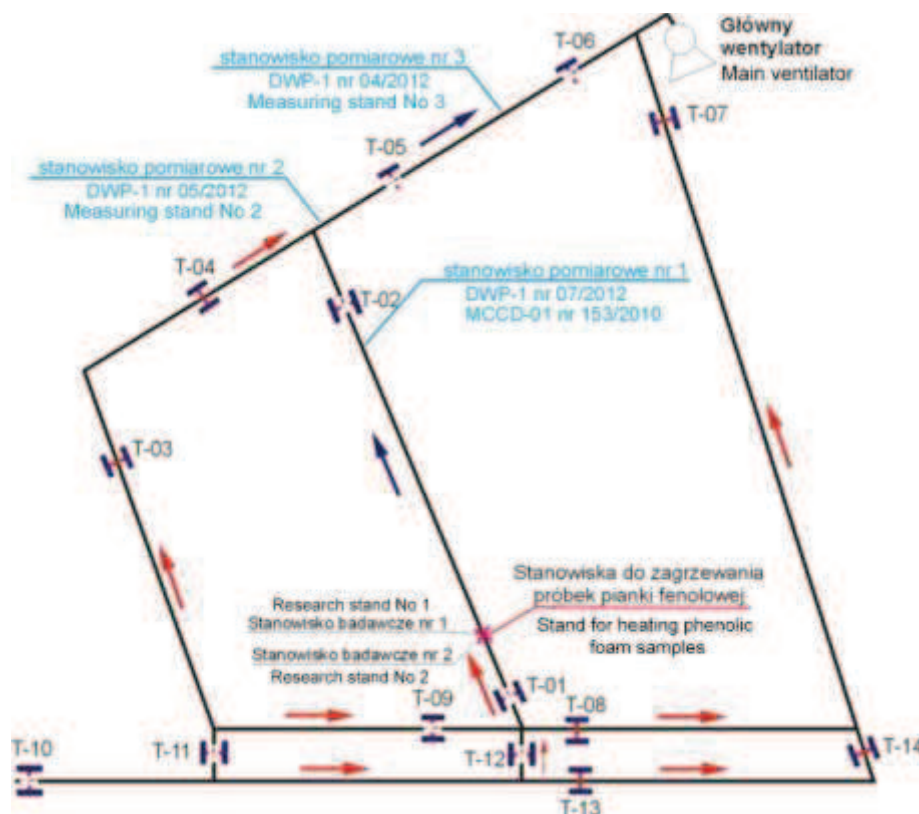
#### 4.1. Examining the foam of *Ekoflex* type

*Ekoflex* is two-component foam, received by mixing the element of aqueous solution of phenol-formaldehyde resin and solution of organic and inorganic acids in the volumetric ratio of 4:1.

Phenolic foams (pic. 5) used for examinations were crushed on the parts about dimensions of the cube about sides of 10 cm (test No. 1) and cylinder of 23x $\phi$ 10cm test No. 1 and No. 2) and situated in research positions. In the research stand No. 2, the sample of foam was put to the methane retort, which was put centrally in the stove initially heated to the temperature of 500°C.



Rys. 5. Próbki pianek wykorzystanych do testów [opracowanie własne]  
Fig. 5. Samples of foams used for tests [own study]



Rys. 6. Schemat przestrzenny wyrobiska CSGR w Bytomiu ([6] na podstawie dokumentacji CSGR)  
Fig. 6. Spatial scheme of the CSGR mine working in Bytom ([6] on the basis of CSGR documentation)

#### 4.2. Schemat wyrobiska doświadczalnego w CSRG Bytom

Na rys. 6. przedstawiono schemat wyrobiska Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego (CSRG) w Bytomiu z miejscami lokalizacji czujników DWP-1 oraz stanowiskiem pożarowym do palenia próbek.

Podziemne stanowisko szkoleniowe CSRG składa się z dwóch przekopów o długości 52 i 48 m połączonych trzema przecinkami. Na wylocie krótszego przekopu zainstalowano wentylator główny, o regulowanej wydajności, wymuszający przepływ powietrza w sieci wyrobisk. W obu przekopach i przecinkach zabudowano szereg tam wentylacyjnych (drzwi), które umożliwiają regulację rozplywu powietrza odpowiednio do potrzeb testów symulacji pożarowej.

W skład stanowisk badawczych wchodziły następujące elementy (rys. 7):

- źródło inicjacji zagrzewania próbek pianki fenolowej:
  - stanowisko badawcze nr 1 – zagrzewanie próbek pianki w otwartym układzie grzania;
  - stanowisko badawcze nr 2 – zagrzewanie próbek pianki w zamkniętym układzie grzania z wykorzystaniem stanowiska do koksowania węgla i badania koksu [7];
- lokalizacja przyrządów pomiarowych:
  - stanowisko pomiarowe nr 1 z czujnikiem DWP-1 o nr. 7 oraz pomiarem przepływu powietrza za pomocą anemometru AS-3; w odległości ~15 m od stanowiska źródła pożarowego;
  - stanowisko pomiarowe nr 2 z czujnikiem DWP-1 o nr. 5;
  - stanowisko pomiarowe nr 3 z czujnikiem DWP-1 o nr. 4.

#### 4.2. Scheme of the experimental mine working in CSRG Bytom

In picture 6, one has presented a scheme of the mine working of the Central Mines Rescue Station (CSRG) in Bytom with places of the location of DWP-1 sensors and the fire position for burning samples.

The underground CSRG training position consists of two excavations of the length of 52 m and 48 m, connected with three paths. On the exit of the shorter excavation, one has installed the main extractor fan, about the adjustable productivity, enforcing the air flow in the network of mine workings. In both excavations and paths, one has developed a row of ventilation dams (door), which enable the regulation of the air flow, appropriately to the needs of tests of the fire simulation.

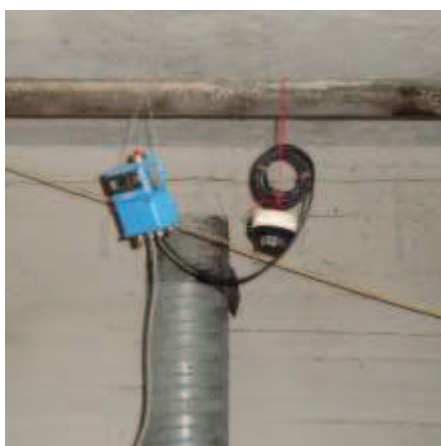
The following elements were included in the research stands (pic. 7):

- source of the initiation of heating samples of phenolic foam:
  - research stand No. 1 - heating the samples of foam in the opened system of heating;
  - research stand No. 2 - heating the samples of foam in the closed system of heating, using the stand to coke the coal and examine the coke [7];
- location of measuring instruments:
  - measuring stand No. 1 with the DWP-1 sensor No. 7 and with the measurement of the air flow with the AS-3 anemometer; in the distance of ~15 m from the stand of the fire source;
  - measuring stand No. 2 with the DWP-1 sensor No. 5;
  - measuring stand No. 3 with the DWP-1 sensor No. 4;

a)



b)



c)



Rys. 7. Stanowiska pomiarowe: a) nr 1; b) nr 2; c) nr 3 [opracowanie własne]  
Fig. 7. Measuring stands: a) No. 1; b) No. 2; c) No. 3 [own study]

Stanowiska pomiarowe zostały rozmieszczone w odległości 15, 25 i 50 m od stanowisk badawczych. Stanowiska badawcze nr 1 i nr 2 znajdowały się obok siebie w odległości 1,5 m oraz w odległości około 3 m od tamy regulacyjnej T-01.

#### 4.3. Warunki przeprowadzenia badań

Przepływ powietrza w wyrobisku podczas badań utrzymywano na poziomie  $0,3 \div 0,4$  m/s ( $\sim 3000$  m<sup>3</sup>/godz.), natomiast przed testami termicznymi dokonywano przewietrzenia wyrobiska sztolni (przepływ powietrza około  $1,5 \div 2$  m/s). W momencie pojawienia się produktów świadczących o rozkładzie termicznym próbki pianki wyłączano wentylator oraz urządzenia grzejne stanowisk badawczych, a także zamykano tamę T-10, blokując tym samym dopływ świeżego powietrza do wyrobisk sztolni.

Temperatury inicjacji dla kolejnych testów (rys. 8, 9) były następujące:

- 400°C dla grzałki zainstalowanej na stanowisku badawczym nr 1,
- do 800°C dla grzałki zainstalowanej na stanowisku badawczym nr 2.

Na stanowisku badawczym nr 1 próbka znajdowała się bezpośrednio wewnątrz stanowiska, tak aby poddawana była działaniu przepływającego prądu powietrza do czasu zamknięcia tamy T-10. Natomiast na stanowisku badawczym nr 2 próbkę pianki umieszczono w retorcie, która umieszczona została centralnie w piecu nagrzanym wstępnie do temperatury 500°C, gdzie rozkład temperatury był równomierny.

Measuring stands were arranged in distances of 15 m, 25 m and 50 m from the research stands. Research stands No. 1 and No. 2 were in a distance of 1.5 m from each other and in the distance of 3 m from the T-01 control dam.

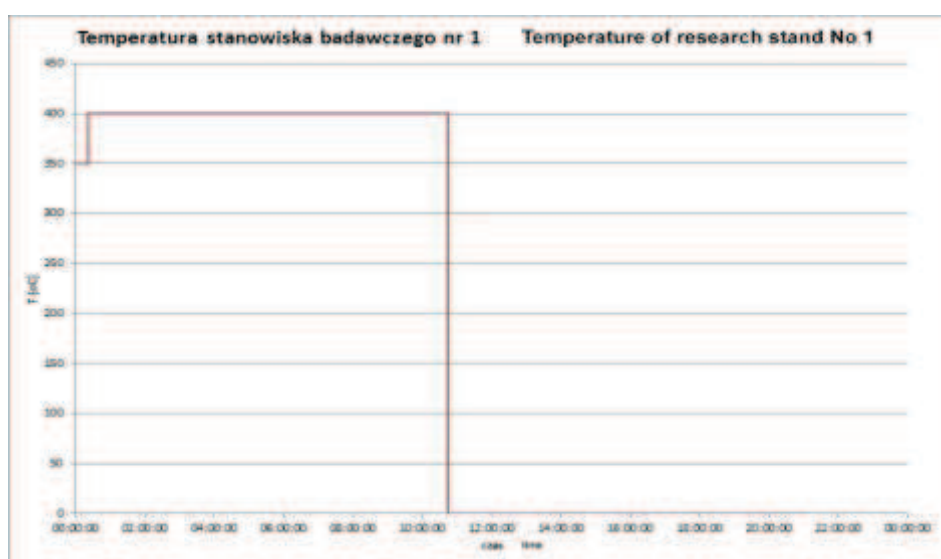
#### 4.3. Conditions of conducting research

The air flow in the mine working during examinations was kept on the level of  $0,3 \div 0,4$  m/s ( $\sim 3000$  m<sup>3</sup>/hour.), however before thermal tests, one has made the airing of the mine working of the adit (air flow about  $1,5 \div 2$  m/s). In the moment of the appearance of products at testing to the thermal decomposition of the sample of foam, the extractor fan and heating units of research stands were turned off, as well as the T-10 dam was closed, blocking the inflow of the fresh air to mine workings of the adit in the process.

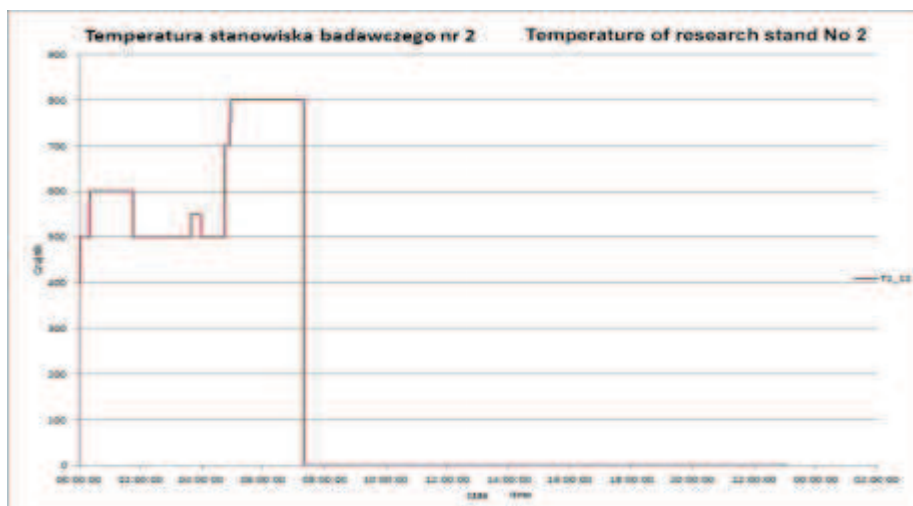
Temperatures of the initiation for another tests (pic. 8, 9) were following:

- 400°C for the immersion heater installed on the research stand No. 1,
- up to 800°C for the immersion heater installed on the research stand No. 2.

In the research stand No. 1, the sample was located directly inside the stand so that it was subjected to operation of the current airflow to the closing time of the T-10 dam. However, in the research stand No. 2, one has put the sample of foam in the retort, which was located centrally in the stove initially heated to the temperature of 500 °C, and where the temperature distribution was regular.



Rys. 8. Temperatura zadana na stanowisku badawczym nr 1 dla testu nr 1 spalania próbek pianki [6]  
Fig. 8. Temperature fixed on the research stand No. 1 for the test No. 1 of burning the samples of foam [6]



Rys. 9. Temperatura zadana na stanowisku badawczym nr 2 dla testu nr 2 spalania próbek pianki [6]  
 Fig. 9. Temperature fixed on the research stand No. 2 for the test No. 2 of burning the samples of foam [6]

Weryfikację zagrożenia pożarowego oparto na opracowanym podczas realizacji projektu europejskiego EDAFFIC [5] wskaźniku zagrożenia pożarowego, który odwzorowuje prawdopodobieństwo wystąpienia stanu normalnego, ostrzegawczego, alarmowego lub pożaru [2, 11, 3].

The verification of a fire hazard was based on the indicator of a fire hazard developed during the realisation of EDAFFIC European project [5], which is copying the probability of the normal, warning, alarm state or the fire [2, 11, 3].

## 5. WYNIKI BADAŃ

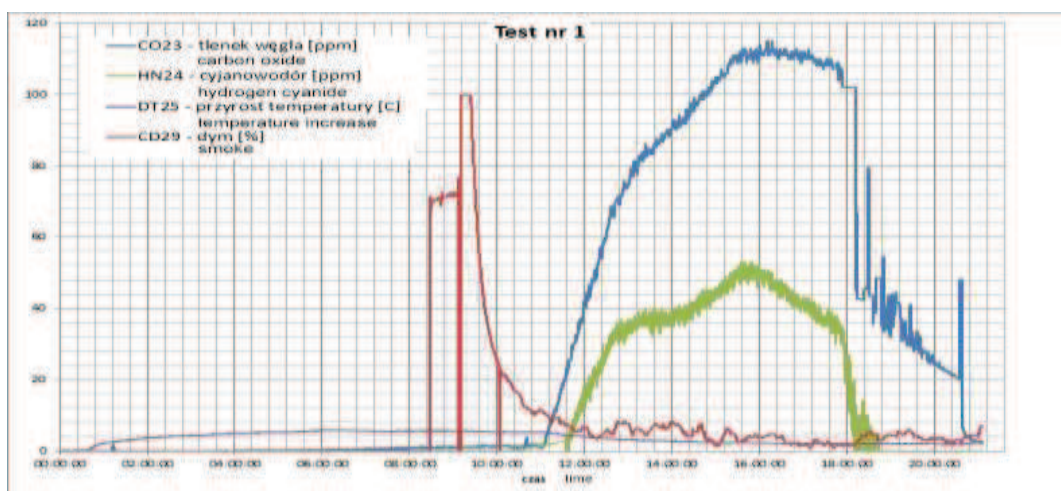
## 5. RESEARCH RESULTS

### 5.1. Test na stanowisku badawczym nr 1

### 5.1. Test on the research stand No. 1

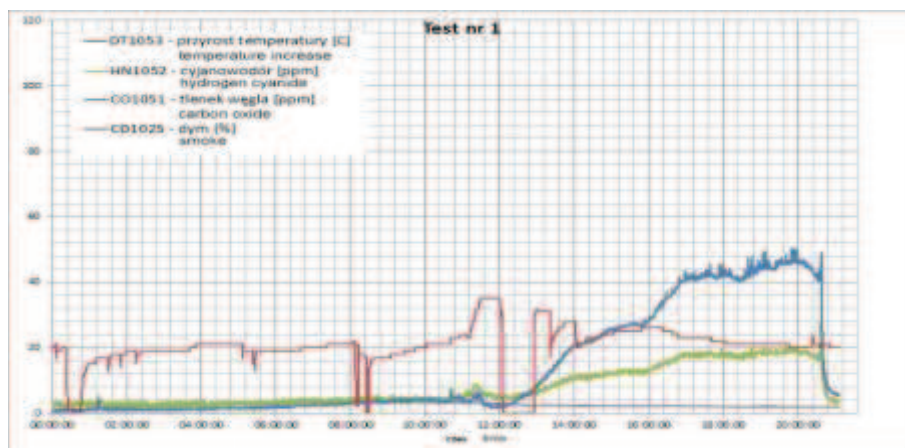
Na rys. 4., 5. i 6. przedstawiono przebiegi sygnałów pomiarowych uśrednionych i przefiltrowanych z testu palenia próbki pianki – test nr 1 – na stanowiskach badawczych nr 1, 2 i 3, natomiast na rys. 13. pokazano piankę po badaniach.

On pictures 10, 11 and 12 one has presented the processes of measuring signals, averaged and filtered, from the test of burning the sample of foam - test No. 1 - on the research stands No. 1, 2 and 3, however on pic. 13, one has showed the foam after examinations.

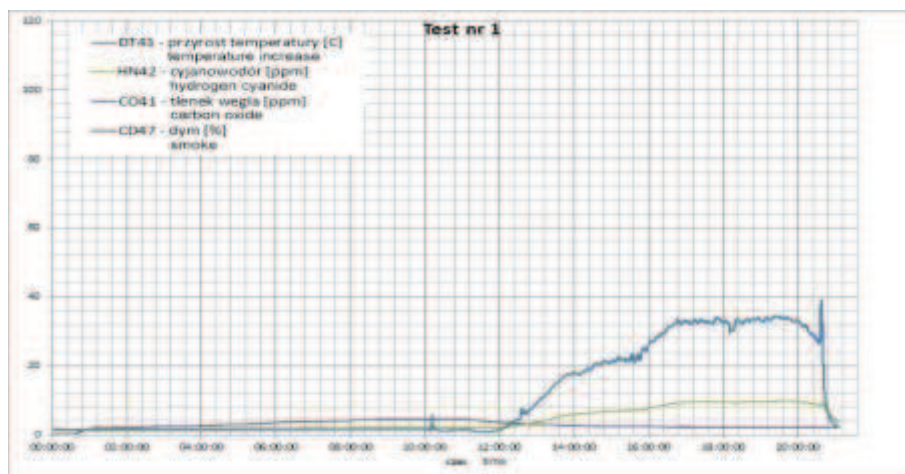


Rys. 10. Rejestracja przebiegów sygnałów pomiarowych na stanowisku pomiarowym nr 1 – test nr 1 [6]  
 Fig. 10. Registration of processes of measuring signals on the research stand No. 1 - test No. 1 [6]

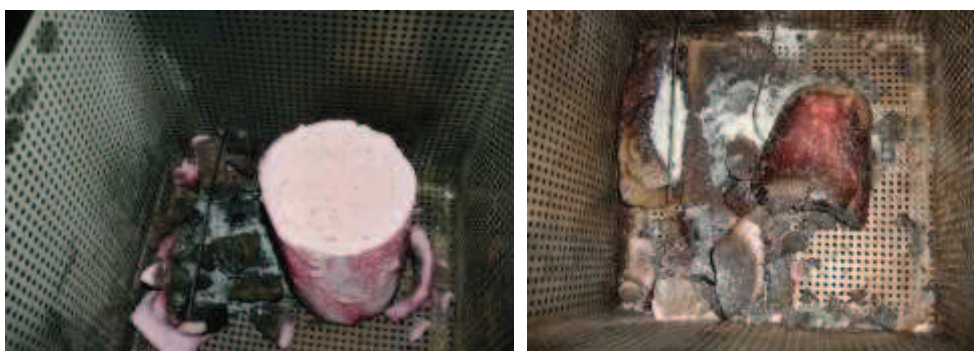




Rys. 11. Rejestracja przebiegów sygnałów pomiarowych na stanowisku pomiarowym nr 2 – test nr 1 [6]  
 Fig. 11. Registration of processes of measuring signals on the research stand No. 2 – test No. 1 [6]



Rys. 12. Rejestracja przebiegów sygnałów pomiarowych na stanowisku pomiarowym nr 3 – test nr 1 [6]  
 Fig. 12. Registration of processes of measuring signals on the research stand No. 3 – test No. 1 [6]



Rys. 13. Pianka typu Ekoflex po badaniach na stanowisku nr 1 [opracowanie własne]  
 Fig. 13. Foam of the Ekoflex type after examinations on the research stand No. 1 [own study]

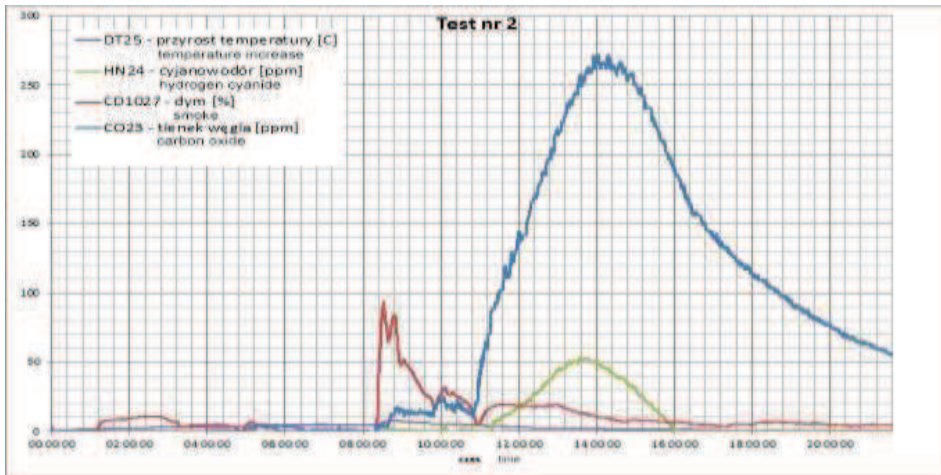
## 5.2. Test na stanowisku badawczym nr 2

Na rys. 8., 9. i 10. przedstawiono przebiegi sygnałów pomiarowych uśrednionych i przefiltrowanych z testu nr 2 – palenia próbki pianki na stanowiskach badawczych nr 1, 2 i 3, natomiast na rys. 18. – widok stanowiska podczas testu.

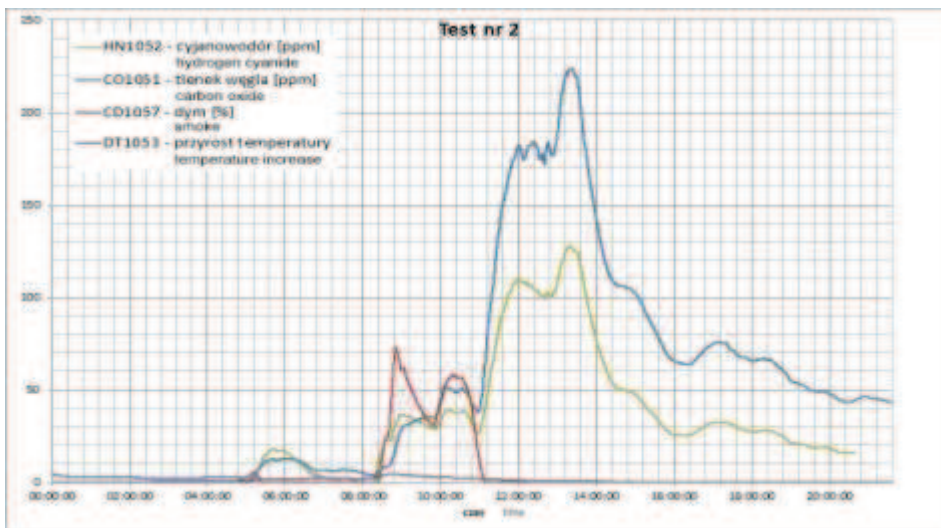
## 5.2. Test on the research stand No. 2

On pictures 14, 15 and 16, one has presented processes of measuring signals, averaged and filtered, from the test No. 2 – burning the sample of foam on the research stands No. 1, 2 and 3, however on pic. 18 – presentation of the stand during the test.

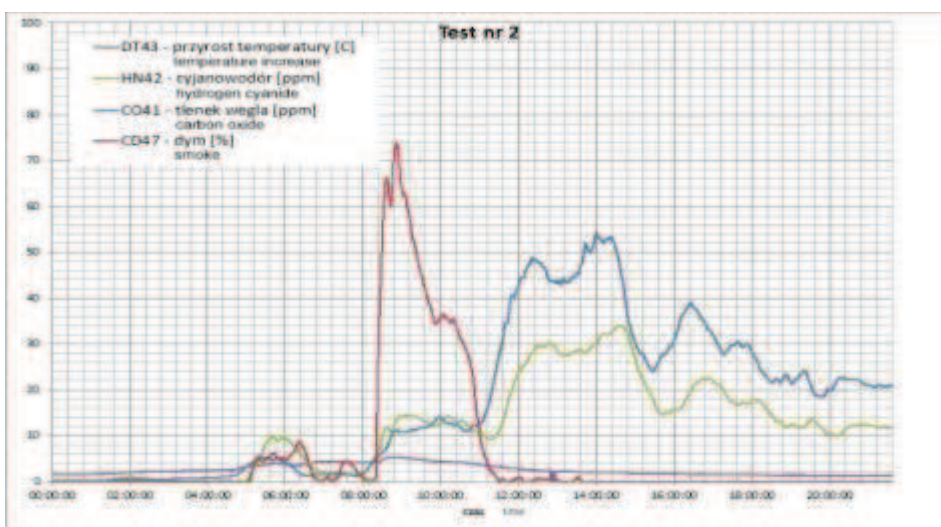




Rys. 14. Rejestracja przebiegów sygnałów pomiarowych na stanowisku pomiarowym nr 1 – test nr 2 [6]  
 Fig. 14. Registration of processes of measuring signals on the research stand No. 1 – test No. 2 [6]



Rys. 15. Rejestracja przebiegów sygnałów pomiarowych na stanowisku pomiarowym nr 2 – test nr 2 [6]  
 Fig. 15. Registration of processes of measuring signals on the research stand No. 2 – test No.2 [6]



Rys. 16. Rejestracja przebiegów sygnałów pomiarowych na stanowisku pomiarowym nr 3 – test nr 2 [6]  
 Fig. 16. Registration of processes of measuring signals on the research stand No. 3 – test No.2 [6]



Rys. 17. Pianka typu Ekoflex w podczas testu palenia wysokotemperaturowego [opracowanie własne]  
 Fig. 17. Foam of the Ekoflex type during the test of the high-temperature burning [own study]

## 6. PODSUMOWANIE

Badane substancje określane są przez producenta jako trudnopalne i takie właściwości zachowują.

Podczas przyrostu temperatury pianki następuje procesu rozkładu termicznego i wydzielają się toksyczne produkty gazowe, które są szkodliwe dla człowieka.

Kryteria wskaźnika zagrożenia pożarowego dobrane zostały tak, aby jak najszybciej wykryć pierwszy stan ostrzegawczy, który informuje o zagrożeniu dla zdrowia człowieka znajdującego się w danym rejonie.

Analiza przebiegów rozkładu termicznego palonej próbki pianki fenolowej wykazała, że w przypadku testu nr 1 po ośmiu godzinach rozpoczął się pożar, a w przypadku testu nr 2 po pięciu godzinach rozpoczęła się faza rozgrzewania, natomiast po ośmiu godzinach nastąpił pożar. Do tego czasu wskaźnik zagrożenia pożarowego nie przekroczył 0,2. W związku z powyższym przyjęto, że poziom rozpoczynający pojawienie się zagrożenia wynosi powyżej 0,2. Analizując wyniki, przyjęto dla tego rodzaju materiału następujące kryterium oceny poziomu sygnału wskaźnika zagrożenia pożarowego:

- stan normalny:  $0,00 \div 0,20$ ;
- stan ostrzegawczy:  $0,21 \div 0,50$ ;
- stan alarmu:  $0,51 \div 0,80$ ;
- pożar:  $0,81 \div 1,00$ .

Badania wykazały także, że przy zaniku przepływu powietrza w miejscu procesu termicznego rozkładu pianki następuje gwałtowny przyrost stężeń i wzrost zagrożenia pożarem – znaczne wydzielanie się substancji gazowych nastąpiło po wyłączeniu wentylatora i zamknięciu tamy nr T-10 (otamowanie całego rejonu wyrobiska doświadczalnego CSRG w Bytomiu), spowodowało to osiągnięcie maksymalnego zakresu wskaźnika zagrożenia pożarowego dla stanowisk pomiarowych ( $W_p = 1$ ), co wskazuje na pożar lub zarzenie się substancji poddanej działaniu termicznemu. Przykłady gwałtownego przyrostu wartości wskaźnika pokazano na rys. 19. i 20.

## 6. SUMMARY

The examined substances are determined by the producer as slow-burning and are keeping such properties.

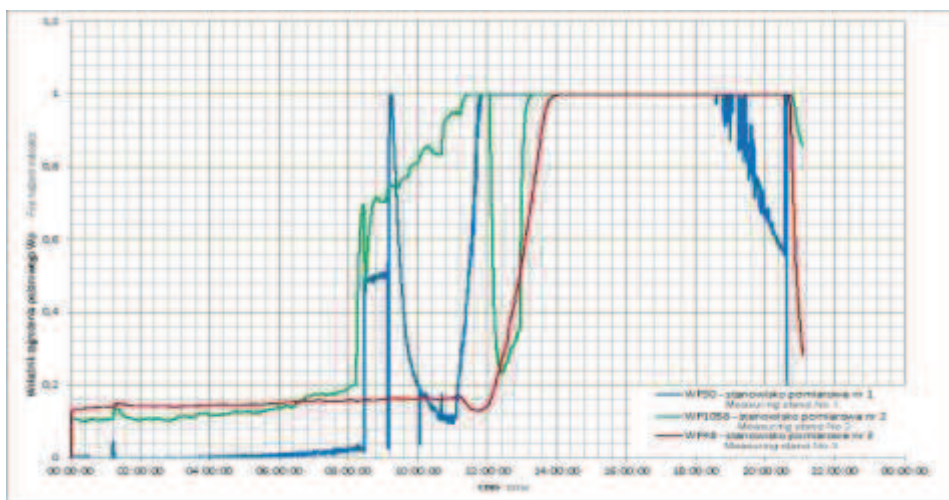
During the increase in the temperature of foam, the process of thermal decomposition is taking place as well as the gas toxic products, which are harmful for the man, are released.

Criteria of the indicator of a fire hazard were chosen in such a way, to detect as soon as possible the first warning state, which is informing of the risk to health of the man, being in a given area.

Analysis of the thermal decomposition processes of the burned phenolic foam sample showed, that for the test No. 1, after eight hours, a fire was starting, and for the test No. 2, after 5 hours, a phase of heating up is starting, however, a fire came after eight hours. Until then, the indicator of a fire hazard did not exceed 0.2. With reference to the above, it was assumed, that the level beginning the appearance of risk was above 0.2. Analysing the results, one has assumed for that kind of material, the following criterion of the assessment of the level of the indicator signal of a fire hazard:

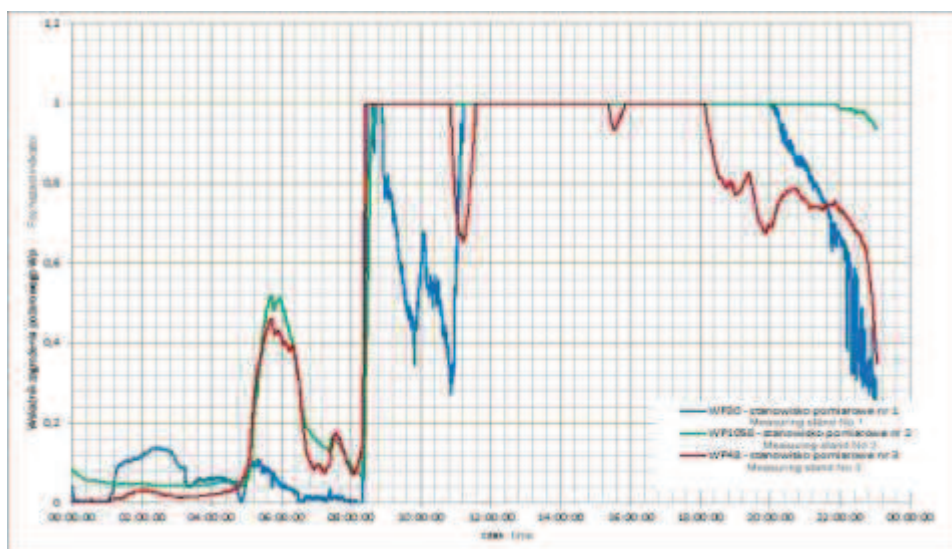
- normal state  $0,00 \div 0,20$ ;
- warning state  $0,21 \div 0,50$ ;
- alarm state,  $0,51 \div 0,80$ ;
- fire  $0,81 \div 1,00$ .

Examinations has also showed, that after the disappearance of the airflow in the place of the thermal process of the decomposition of foam, a sudden increase in concentrations and a growth of the risk of fire are taking place - considerable emission of gaseous substances took place after turning off the extractor fan and closing the dam No. T-10 (constructing dams on the entire area of the experimental CSRG mine working in Bytom), what resulted in achieving the maximum range of the indicator of a fire hazard for measuring stands ( $W_p = 1$ ), what suggest the fire or incandescence of the substance subjected to thermal action. Examples of the sudden increase in the value of the indicator were shown on pic. 19 and 20.



Rys. 18. Przebieg zmian wartości wskaźników zagrożenia pożarowego na trzech stanowiskach pomiarowych – test nr 1 [6]

Fig. 18. Process of changes of the value of indicators of a fire hazard on three measuring stands – test No. 1 [6]



Rys. 19. Przebieg zmian wartości wskaźników zagrożenia pożarowego na trzech stanowiskach pomiarowych – test nr 2 [6]

Fig. 19. Process of changes of the value of indicators of a fire hazard on three measuring stands – test No. 2. [6]

Wyniki pokazują, że opracowany wskaźnik może wykryć zagrożenie spowodowane wydzielaniem się gazów toksycznych podczas rozkładu termicznego pianek fenolowo-formaldehydowych (żarzenie się, tlenie się bez otwartego ognia).

Na podstawie uzyskanych rezultatów badań można stwierdzić, że uzasadnione jest prowadzenie dalszych prac, zmierzających do sprawdzenia stosowanych w kopalniach podziemnych innych rodzajów pianek oraz materiałów – takich jak: kable elektryczne, cieczy hydrauliczne, oleje, smary, rury plastikowe, węże i przewody hydrauliczne – i opracowania dla nich wskaźnika zagrożenia pożarowego oraz wyznaczenia stanów i poziomów wystąpienia zagrożenia pożarowego lub pożaru.

Results are showing that the developed indicator can detect the risk caused by the emission of toxic gasses during the thermal decomposition of phenol-formaldehyde foams (incandescence, oxidising without a naked flame).

On the basis of the obtained results, it is possible to state, that leading the further works, aiming at checking other kinds of foams and materials, such as: electric cables, plumbing liquids, oils, greases, plastic pipes, hosepipes and hydraulic lines, applied in underground mines, is justified, as well as developing for them the indicator of a fire hazard and appointing states and levels of appearance of a fire hazard or fire.



*Autor składa podziękowania firmie MINOVA EKOCHEM S.A. za dostarczenie próbek pianek do testów termicznych oraz Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego w Bytomiu – za udostępnienie sztolni próbnej do badań.*

*The author is thankful to the MINOVA EKOCHEM S.A. [en. incorporated] for providing samples of foams to thermal tests and the Central Mines Rescue Station in Bytom for making available the test adit for examinations.*

#### Literatura

1. Broja A., Felka D.: *Analiza zagrożenia pożarowego w kopalniach węgla kamiennego na trasie przenośnika taśmowego*. „Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa”, 2012, nr 5(495).
2. Broja A., Mróz J.: *Struktura i elementy systemu wykrywania pożarów przenośników taśmowych*. „Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa”, 2012, nr 6(496), s. 31-47.
3. Broja A., Szczygielska M., Mróz J., Felka D.: *System monitorowania zagrożenia pożarowego przenośników taśmowych*, XX Międzynarodowe Sympozjum FTT, Wolbrom 2013.
4. Cierpisz S., Miśkiewicz K., Musioł K., Wojaczek A.: *Systemy gazometryczne w górnictwie*, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
5. Dokumentacja projektu europejskiego nr RFCR-CT-2008-00002 „Early Detection and Fighting of Fires in Belt Conveyors” – EDAFFIC, Praca pod kier. J. Mroza, Instytut Techniki Innowacyjnych EMAG, Katowice 2008-2011, niepublikowane.
6. Dokumentacja projektu europejskiego nr RFCR-CT-2010-00005 „Minimalizacja ryzyka występowania i zmniejszenie skutków zagrożenia pożarem i wybuchem w podziemnym górnictwie węglowym” – MINFIREX, Praca pod kier. S. Trenczka, Instytut Techniki Innowacyjnych EMAG, Katowice 2010-2012, niepublikowane.
7. Dokumentacja projektu nr WKP\_1/1.4.4/1/2006/12/12/617 „Zintegrowane stanowisko do koksowania próbek i kompleksowego badania koksu”, Praca pod kier. J. Mroza, Instytut Techniki Innowacyjnych EMAG, Katowice 2006-2008, niepublikowane.
8. Materiały informacyjne *Piany do wypełnień i izolacji* – Minova Ekochem S.A, Siemianowice Śląskie 2014.
9. Mrozek B., Felka D.: *Inteligentny model wskaźnika zagrożenia pożarowego w kopalni węgla*. „Pomiary Automatyka Robotyka”, 2012, nr 2, s. 540-545.
10. Mróz J., Małachowski M., Broja A.: *Czujnik do wykrywania źródeł pożarów przenośników taśmowych*, Szkoła transportu, 2010.
11. Mróz J., Szczygielska M., Broja A.: *Monitorowanie stanów awaryjnych i wczesne wykrywanie pożarów przenośników taśmowych*. „Materiały sypkie i masowe”, 2011, nr 8.
12. Mróz J., Szczygielska M., Trenczek S.: *Badania parametrów charakterystycznych dla źródła powstającego pożaru przenośnika taśmowego*. „Cuprum”, 2010, nr 3, s. 91-108.
13. Trenczek S.: *Szczelinowe samozapalenie się węgla oraz samozapalenie się spoiwa klejowego jako hipotetyczne inicjatywy wybuchu metanu w kopalni „Borynia”*. „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie”, 2010, nr 5, s. 21-27.
14. Wachowicz J.: *Zagrożenia pożarowe w kopalniach powodowane stosowaniem materiałów organicznych*, Wyd. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2007.

*Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów.*

#### References

1. Broja A., Felka D.: *Analiza zagrożenia pożarowego w kopalniach węgla kamiennego na trasie przenośnika taśmowego*. „Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa”, 2012, nr 5(495).
2. Broja A., Mróz J.: *Struktura i elementy systemu wykrywania pożarów przenośników taśmowych*. „Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa”, 2012, nr 6(496), s. 31-47.
3. Broja A., Szczygielska M., Mróz J., Felka D.: *System monitorowania zagrożenia pożarowego przenośników taśmowych*, XX Międzynarodowe Sympozjum FTT, Wolbrom 2013.
4. Cierpisz S., Miśkiewicz K., Musioł K., Wojaczek A.: *Systemy gazometryczne w górnictwie*, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
5. Dokumentacja projektu europejskiego nr RFCR-CT-2008-00002 „Early Detection and Fighting of Fires in Belt Conveyors” – EDAFFIC, Praca pod kier. J. Mroza, Instytut Techniki Innowacyjnych EMAG, Katowice 2008-2011, niepublikowane.
6. Dokumentacja projektu europejskiego nr RFCR-CT-2010-00005 „Minimalizacja ryzyka występowania i zmniejszenie skutków zagrożenia pożarem i wybuchem w podziemnym górnictwie węglowym” – MINFIREX, Praca pod kier. S. Trenczka, Instytut Techniki Innowacyjnych EMAG, Katowice 2010-2012, niepublikowane.
7. Dokumentacja projektu nr WKP\_1/1.4.4/1/2006/12/12/617 „Zintegrowane stanowisko do koksowania próbek i kompleksowego badania koksu”, Praca pod kier. J. Mroza, Instytut Techniki Innowacyjnych EMAG, Katowice 2006-2008, niepublikowane.
8. Materiały informacyjne *Piany do wypełnień i izolacji* – Minova Ekochem S.A, Siemianowice Śląskie 2014.
9. Mrozek B., Felka D.: *Inteligentny model wskaźnika zagrożenia pożarowego w kopalni węgla*. „Pomiary Automatyka Robotyka”, 2012, nr 2, s. 540-545.
10. Mróz J., Małachowski M., Broja A.: *Czujnik do wykrywania źródeł pożarów przenośników taśmowych*, Szkoła transportu, 2010.
11. Mróz J., Szczygielska M., Broja A.: *Monitorowanie stanów awaryjnych i wczesne wykrywanie pożarów przenośników taśmowych*. „Materiały sypkie i masowe”, 2011, nr 8.
12. Mróz J., Szczygielska M., Trenczek S.: *Badania parametrów charakterystycznych dla źródła powstającego pożaru przenośnika taśmowego*. „Cuprum”, 2010, nr 3, s. 91-108.
13. Trenczek S.: *Szczelinowe samozapalenie się węgla oraz samozapalenie się spoiwa klejowego jako hipotetyczne inicjatywy wybuchu metanu w kopalni „Borynia”*. „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie”, 2010, nr 5, s. 21-27.
14. Wachowicz J.: *Zagrożenia pożarowe w kopalniach powodowane stosowaniem materiałów organicznych*, Wyd. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2007.

*The article was reviewed by two independent reviewers.*

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА ПОЖАРООПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПРОДУКТОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДИССОЦИАЦИИ ПЕНОФЕНОПЛАСТА

В статье предпринята попытка расширения созданной в рамках европейского проекта EDAFFIC [4] математической модели индекса пожароопасности химических средств, применяемых в шахтных выработках. Данные были получены на основе мониторинга многих параметров, характерных для процесса горения. Математическая модель индекса пожароопасности позволяет выявить и оценить стадию развития угрозы возникновения пожара, прежде чем он перейдет в стадию открытого огня. Показатель основывается на результатах исследований термической диссоциации одного из многих видов фенолформальдегидных пенопластов, используемых в шахтах для герметизации, заполнения пустот и других подобных работ. Испытания проводились в опытной штольне Центральной горноспасательной станции г. Бытом.