

## Zintegrowany czujnik wykrywania wyrzutu – badania modelowe

### Integrated outburst detection sensor – model tests

*Wyrzuty metanu i skał podobnie jak tąpnięcia należą do największych zagrożeń w kopalniach głębinowych i są również trudno przewidywalne. Gwałtowny przebieg zjawiska wyrzutu metanu i skał oraz skala i zasięg zagrożeń po wyrzucie wymagają rozwiązań umożliwiających szybkie, a także jednoznaczne wykrycie powstałego zagrożenia i natychmiastowe wyłączenie energii elektrycznej oraz wycofanie załogi ze stref możliwego zagrożenia. W tym celu zaproponowano specjalne rozwiązanie zintegrowanego czujnika wykrywania wyrzutu. W artykule przedstawiono założenia czujnika, który wyposażono w trzy elementy pomiarowo detekcyjne: komorę ciągłego pomiaru metanu, czujnik ciśnienia oraz mikrofon. Głównym celem badań modelu czujnika było oszacowanie parametrów charakteryzujących dynamiczne własności komory pomiarowej czujnika stężenia metanu oraz pozostałych elementów pomiarowych czujnika. Uzyskane wyniki badań potwierdziły słuszność przyjętych rozwiązań.*

*The outbursts of methane and rocks are, similarly to rock bursts, the biggest hazards in deep mines and are equally difficult to predict. The violent process of the methane and rock outburst phenomenon, along with the scale and range of hazards after the outburst, require the solutions which would enable quick and unambiguous detection of the hazard, immediate power supply cut-off and evacuation of personnel from potentially hazardous areas. For this purpose, an integrated outburst detection sensor was developed. The paper features the assumed functions of the sensor which was equipped with three measuring and detection elements: a chamber for constant measurement of methane concentration, pressure sensor and microphone. The tests of the sensor model were carried out to estimate the parameters which characterize the dynamic properties of the measuring chamber of the methane concentration sensor and other measuring elements of the sensor. The obtained results proved that the applied solutions had been appropriate.*

#### 1. WSTĘP

---

Tąpnięcia oraz wyrzuty węgla, skał i gazu należą do najpoważniejszych zagrożeń naturalnych towarzyszących eksploatacji podziemnej węgla. Moment wyrzutu metanu i skał – podobnie zresztą jak w przypadku tąpnięć, należy do zjawisk niedostatecznie przewidywalnych, co do miejsca i czasu. Wyrzutom

#### 1. INTRODUCTION

---

Rock bursts, along with the outbursts of coal, rocks and gas, are one of the most serious natural hazards related to underground coal mining. The moment of a methane and rock outburst – similarly to rock bursts – is a poorly predictable phenomenon as far as its time and place are concerned. The outbursts of coal,

węgla, skał i gazu towarzyszą zjawiska gazogeodynamiczne stwarzając zagrożenie wywołane zarówno przez uwalniany w ogromnych ilościach gaz, jak i działanie mas powyrzutowych.

Wyrzuty gazów i skał należą do skomplikowanych zjawisk w kopalniach, a mechanizm tego zjawiska mimo wielu prac badawczych (Bodziony 1997), nie został jeszcze dokładnie zbadany i rozpoznany. Podejmowane próby wyjaśnienia tego zjawiska sprowadzały się jedynie do hipotez, różniących się określeniem czynników, które są najbardziej aktywne i mają decydujący wpływ na wzbudzenie nagłego wyrzutu.

Intensywne prace związane z rozpoznaniem mechanizmu powstawania wyrzutu metanu i skał oraz badania kryteriów oceny tego zagrożenia podjęto w Instytucie Mechaniki Górnotworu PAN w Krakowie w ramach projektu rozwojowego pt. „*Nowoczesne metody zwiększenia bezpieczeństwa załóg w aspekcie zagrożenia wyrzutami węgla i metanu w kopalniach eksploatujących węgiel kamienny*” finansowanego przez MNiSW. Jest oczywiste, że zwalczanie zagrożenia wyrzutowego wymaga właściwego jego rozpoznania, co stanowić może podstawę prognozowania, a także wyboru odpowiedniej profilaktyki.

Równocześnie praktyka światowego górnictwa (Chiny, Ukraina oraz Rosja), a także doświadczenia i obserwacje wyrzutów w warunkach polskich kopalń pokazują, że w przypadku pokładów skłonnych do wyrzutów takie zdarzenia występują pomimo stosowania szerokiej profilaktyki i najlepszych metod prognozowania. Istnieje zatem potrzeba ograniczenia skutków wyrzutów.

W przypadku wyrzutów węgla, skał i metanu pojęcie zagrożenia związane jest z dwoma czynnikami (Jakubów, Tor, Tobiczki, 2003). Pierwszym jest działanie mas powyrzutowych bezpośrednio na ludzi, urządzenia oraz obudowę wyrobisk górniczych. Drugim jest metan uwalniany podczas wyrzutu w krótkim czasie i ogromnych ilościach, który zakłóca wentylację kopalni, tworząc w wyrobiskach podziemnych mieszaninę wybuchową lub palną oraz często, na znacznym obszarze, atmosferę niezdarną do oddychania wskutek obniżonej zawartości tlenu. Zagrożenie gazowe może zatem objąć swym zasięgiem wiele wyrobisk podziemnych kopalni, a także ludzi znajdujących się w tych wyrobiskach.

W projekcie przyjęto, że bardzo ważne jest wczesne wykrycie zjawiska wyrzutu jeśli już się zdarzyło oraz uruchomienie zabezpieczeń (wyłączenie energii elektrycznej), a także szybka sygnalizacja załódze o powstałym zagrożeniu i rozgłoszenie sygnałów alarmowych na drogach przepływu gazów powyrzutowych, co może ograniczyć skutki wyrzutu i usprawnić akcję ratunkową. Należy uwzględnić skutki ogło-

are accompanied by gas- and geodynamic phenomena, thus posing a hazard to the mining operations due to both a large volume of gas released and the actions of post-outburst rock mass.

The outburst of gases and rocks is a complicated mining-related phenomenon and its mechanism has not been thoroughly investigated in spite of many research works on this subject (Bodziony 1997). The attempts to explain the phenomenon were limited to hypotheses that differed from one another only with respect to which factors are the most active and decisive in the stimulation of a sudden outburst.

Intensive work on the identification of the methane and rock outburst mechanism, along with the criteria to assess this phenomenon, have been undertaken in the Strata Mechanics Research Institute of the Polish Academy of Sciences in Krakow. The works were carried out within the development project “*State-of-the-art methods to increase the safety of mining personnel with respect to coal and methane outbursts in hard coal mines*” financed by the Ministry of Science and Higher Education. It is evident that working against the outburst-related hazards requires proper identification of the issue which can be the basis to predict the event and to select proper prevention actions.

Simultaneously, the practice of world mining (China, Ukraine and Russia), along with the experiences and observation of outbursts in Polish mines, show that in beds liable to outbursts such phenomena do occur in spite of intensive prevention actions and excellent prognostic methods. Therefore, there is a need to diminish the consequences of outbursts.

In the case of coal, rock and methane outbursts the hazard is related to two factors (Jakubów, Tor, Tobiczki, 2003). The first one is the impact of post-outburst mass on people, machines and supports of mining excavations. The second one is methane, released during the outburst in a short time and huge volume, which disturbs the ventilation system of the mine by creating an explosive or flammable mixture and, very often and on a large area, the atmosphere that is unsuitable for breathing due to the lowered oxygen content. The gas hazard can cover many underground excavations of the mine and people in these excavations.

The assumption of the project was that it is important to detect the outburst quickly if the phenomenon has already occurred and to apply certain protection means (power supply cut-off), as well as to immediately alert the personnel about the hazard and issue alarm signals on the ways of post-outburst gases. These actions are likely to diminish the impact of the outburst and improve rescue operations. It is necessary

szenia alarmu o zaistniałym wyrzucie oraz uruchomienia akcji wycofania i ratowania górników, stąd konieczne są badania, mające na celu wykluczenie błędnych alarmów i zapewnienie jednoznacznych sygnałów o powstałym zagrożeniu. Przyjęto, że do wykrywania momentu wyrzutu konieczne jest wykorzystanie nie tylko gwałtownego wzrostu metanu, ale także innych oznak wyrzutu, np. gwałtownego wzrostu ciśnienia.

Dotychczasowe obserwacje zjawisk zachodzących w momencie i bezpośrednio po wyrzucie metanu i skał (Pniówek 2002, Zofiówka 2005) pokazują, że wyrzutom oprócz uwolnienia gazu i działania mas powyrzutowych towarzyszą zjawiska dynamiczne, z których najważniejsze to:

- gwałtowny wzrost stężenia metanu,
- przemieszczająca się fala ciśnienia powietrza,
- efekty akustyczne,
- duża prędkość przepływu powietrza,
- rozprzestrzenianie się „korka metanowego”, o znacznych stężeniach, tworzące wzdłuż dróg wentylacyjnych atmosferę wybuchową lub niezdadną do oddychania.

Powyższe zjawiska mogą być zatem wykorzystane do wykrywania wyrzutów skał i gazów oraz natychmiastowego wyłączenia energii elektrycznej, a także ostrzegania załogi górniczej w celu ograniczenia skutków wyrzutu. Szybkie wypełnianie się wyrobisk kopalni metanem stwarza zagrożenie wybuchu metanu, jak również niebezpieczeństwo wystąpienia atmosfery niezdadnej do oddychania. Zjawiska gazodynamiczne i towarzyszące im stany nieustalone po wyrzucie metanu i skał mają bardzo gwałtowny przebieg, co wymaga aby stosowane czujniki stężenia metanu w rejonach szczególnego zagrożenia jakim są np. drażone chodniki charakteryzowały się dużą dynamiką i krótkim czasem reakcji w celu wyłączenia energii elektrycznej.

Doświadczenia po wyrzutach metanu pokazały również, że w wyrobiskach kopalń przez długi czas utrzymywały się nie tylko stężenia wybuchowe metanu, ale także atmosfera niezdadna do oddychania. Stąd istotny jest dobór czujników nie tylko pod względem dynamiki działania, ale również zakresu zmian parametrów powietrza w czasie zdarzeń gazodynamicznych. Nie bez znaczenia jest również sposób i reżim rejestracji, przetwarzania oraz archiwizacji danych pomiarowych oraz komunikatów przyjętych w systemach dyspozytorskiego nadzoru. Zasięg oraz dynamika zjawisk wymagają szybkiej reakcji systemu na powstające zagrożenie wybuchu metanu, co może mieć istotny wpływ na życie i zdrowie górników. Dlatego przy tych zagrożeniach wydaje się konieczne stosowanie rozwiązań systemowych umo-

to take into account the consequences of raising the alarm about the outburst along with the consequences of starting the evacuation of the mining personnel. Therefore the research is needed to eliminate false alarms and provide unambiguous signals about the occurring hazard. It was assumed that in order to detect the outburst, it is necessary to make proper use of such outburst-related symptoms as the violent increase of methane concentration or violent increase of pressure.

The observations of phenomena in the moment of the methane and rock outburst and shortly after it (Pniówek 2002, Zofiówka 2005) prove that, apart from the release of gases and the action of post-outburst masses, the outbursts are accompanied by a number of dynamic phenomena and the most important are the following:

- violent increase of methane concentration,
- moving air pressure wave
- acoustic effects,
- high velocity of air flow,
- propagation of a high-concentration “methane trap (lock)” which creates explosive and unsuitable for breathing atmosphere along ventilation passages.

Thus the above phenomena can be used to detect rock and gas outbursts and to cut off power supply immediately, as well as to alert the mining personnel with a view to diminish the consequences of the outburst. As the mining excavations get filled with methane very quickly, there is a danger that the methane will explode and the atmosphere will become unsuitable for breathing. Gas-dynamic phenomena and the accompanying transient states after methane and rock outbursts have very violent courses. This requires that the applied sensors of methane concentration in highly hazardous areas, such as driven headings, should have a high level of dynamics and short response time in order to cut off power supply.

Experiences after methane outbursts showed that in the mining excavations there had been explosion-level concentrations of methane for a long time and the atmosphere had been unsuitable for breathing. Therefore, it is of key importance to apply proper sensors not only with respect to their dynamics but also the range of air parameter changes during gas-dynamic events. It is equally important to apply a proper way and rigour of recording, processing and storage of measuring data, as well as messages applied in the supervision systems. The range and dynamics of the phenomena require quick response of the system to an emerging hazard of methane explosion. This may have significant impact on the lives and health of miners. That is why it seems necessary to apply systemic solutions which would enable power supply

zliwiających zarówno wyprzedzające wyłączenia energii jak i rozgłaszanie komunikatów dla wyprowadzenia załogi ze stref zagrożonych.

## 2. STANY NIEUSTALONE PARAMETRÓW POWIETRZA PO WYRZUTACH METANU

### 2.1. Wyrzut metanu i skał w czasie drążenia lunety rurowej na poziomie 1000 metrów – KWK Pniówek w 2002 r.

Wyrzut metanu i skał w dniu 23.08.2002 r. podczas wykonywania robót strzałowych związanych z drążeniem lunety rurowej na poziomie 1000 metrów w KWK Pniówek (Jakubów, Tor, Tobiczki 2003). Jego skutki były największym z dotychczas zaistniałych zjawisk gazogeodynamicznych w kopalniach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. W wyniku tego zdarzenia do lunety rurowej wyrzucone zostało 250 m<sup>3</sup> mocno rozdrobnionych powyrzutowych mas węglowych, ponadto wydzielono około 51 500 m<sup>3</sup> metanu. Zasięg mas powyrzutowych miał charakter lokalny i objął lunetę rurową na całej długości około 73 metrów. Równocześnie w wyniku wydzielonego podczas wyrzutu metanu powstało poważne zagrożenie metanowe na znacznym obszarze kopalni.

W wyniku wyrzutu metanu i skał nastąpił gwałtowny wzrost stężenia metanu w przodku do 84%, zarejestrowany przez czujnik systemu metanometrii automatycznej, zabudowany w czole drążonej lunety rurowej. Uwolnienie znacznej objętości metanu spowodowało gwałtowny wzrost stężenia metanu i automatyczne zadziałanie układów wyłączania energii elektrycznej oraz uruchomienie sygnalizacji alarmowej.

Wskutek wyrzutu metanu i skał powstało nie tylko zagrożenie wybuchowe, związane z wydzielaniem znacznej objętości metanu oraz niebezpiecznej zawartości pyłu węglowego, lecz również zagrożenie w wyniku powstania atmosfery niezdanej do oddychania. Metan w krótkim czasie wypełnił wyrobiska na drodze powietrza z rejonu wyrzutu do szybu wentylacyjnego. Analizę zagrożenia metanowego po zaistniałym wyrzucie przeprowadzono (Wasilewski 2005) w oparciu o pomiary stężenia metanu rejestrowane przez czujniki systemu monitorowania zagrożeń metanowych.

Strefa zagrożenia po wyrzucie metanu i skał objęła swym zasięgiem wszystkie wyrobiska znajdujące się na drodze powietrza od miejsca zdarzenia (czoła lunety rurowej) do szybów wentylacyjnych, co pokazano w Tabeli 1.

cut-off prior to the event and make it possible to issue alerting messages in order to evacuate the personnel from hazardous areas.

## 2. TRANSIENT STATES OF AIR PARAMETERS AFTER METHANE OUTBURSTS

### 2.1. Methane and rock outburst while driving a stowing pipe on the level of 1,000 m – Pniówek Coal Mine, 2002

The outburst of methane and rocks occurred on the 23rd of August 2002 during blasting operations related to driving a stowing pipe on the level of 1,000 m at the Pniówek Coal Mine (Jakubów, Tor, Tobiczki 2003). The consequences of the outburst were the biggest gas and geodynamic phenomena recorded up until then in the mines of the region. Due to the event, there were 250 m<sup>3</sup> of finely crushed post-outburst coal mass cast into the stowing pipe. Additionally, about 51,500 m<sup>3</sup> of methane were released. The range of the post-outburst mass was of a local character and covered the stowing pipe along its whole length of 73 m. Simultaneously, due to the methane released during the outburst, there appeared a high methane explosion hazard on a large area of the mine.

As a result of the methane and rock outburst there was a violent increase of methane concentration in the heading, up to 84%, recorded by the sensor of the automatic methane monitoring system installed in the head of the driven stowing pipe. The release of a big volume of methane resulted in a violent increase of methane concentration, automatic reaction of the power supply cut-off system and start-up of the alarm signals.

The outburst of methane and rocks caused not only the methane explosion hazard, related to the release of a huge volume of methane and dangerous concentration of coal dust, but also the hazards related to the atmosphere that became unsuitable for breathing. In a short time the methane filled the excavations located on the air passage between the area of the outburst and the ventilation shaft. The analysis of the methane hazard after the outburst was carried out (Wasilewski 2005) based on the measurements of methane concentration recorded by the sensors of the methane hazards monitoring system.

The hazardous area after the methane and rock outburst, covering all excavations on the air passage between the place of the event (head of the stowing pipe) to the ventilation shafts – Table 1.

Tabela 1/Table 1

**Parametry zarejestrowane w systemie monitorowania po wyrzucie metanu w kopalni Pniówek  
w rejonie zdarzenia oraz na drogach wentylacyjnych**

**Parameters registered by the monitoring system after the methane outburst in the Pniówek Coal Mine  
in the place of the event and in ventilation passages**

Numer czujnika Sensor No	Czas wystąpienia Time of occurrence	Czas opóźnienia Time of delay	Wartość maksymalna Maximum value	Odległość [m] Distance [m]	Uwagi Remarks	
MM137	12:00:20	–	84%	8		
MM138	12:00:40	20 s	64%	156		
MM100	12:01:20	60 s	54%	490		
MM134	12:07:10	350 s	54%	1009		
MM20	12:27:20	27min	26%	4272	Chod. C-2/363	Gallery C-2/363
MM12	12:27:45	27 min 25 s	24%	4250	Chod. C-2/363	Gallery C-2/363
MM15	12:27:55	27 min 35 s	20%	2718	Poch. C-2/363	Incline C-2/363
MM16	12:28:35	28 min 15 s	30%	4230	Chod. C-2/363	Gallery C-2/363
MM28	12:29:25	29 min 5 s	24%	3750	Chod. C-2/363	Gallery C-2/363
MM142	12:27:55	27 min 35 s	20%	2985		
MM306	12:28:55	28 min 35 s	6%	3010		
MM34	12:45:16	44 min 54 s	4,7%	3274	Rejon śc. C-3	Longwall C-3
MM37	13:01:49	61 min 29 s	6%	4576	Rejon śc. C-3	Longwall C-3
MM44	12:53:07	52 min 47 s	3%	3838	Rejon śc. C-3	Longwall C-3
MM121	13:00:59	60 min 39 s	8%	5115	Przekop K-3	Drift K-3
MM123	13:04:21	64 min 1 s	8%	5085	Przekop K-3	Drift K-3
MM122	13:01:49	61 min 29 s	4,4%	5095	Przekop K-3	Drift K-3
MM124	13:06:11	65 min 51 s	4,4%	5019	Przekop K-3	Drift K-3
MM130	12:42:16	41 min 56 s	8%	4808	Rejon śc. K-10	Longwall K-10
MM131	12:45:16	44 min 56 s	8%	4563	Rejon śc. K-10	Longwall K-10
MM136	12:45:06	44 min 46 s	8%	5200	Rejon śc. K-10	Longwall K-10
M5 362	12:49:56	49 min 36 s	2,8%	6021	#4	#4
M5 271	13:07:51	67min31 s	0, 8%	–		
M5 274	13:34:24	94 min 4 s	1,8%	9168	#5	#5

Za najbardziej reprezentatywne dla opisu skali zagrożenia metanowego uznano stężenia metanu w upadowej wentylacyjnej do poziomu 1000 m, rejestrowane przez metanomierz MM134. Stężenie metanu powyżej 30%, na tym czujniku, utrzymywało się do godz. 12:23, tj. około 11 minut, a metanowość bezwzględna w upadowej wentylacyjnej była w tym okresie wyższa od 340 m<sup>3</sup>/min. Maksymalna wartość metanowości bezwzględnej, w upadowej wentylacyjnej do poziomu 1000 metrów wynosiła 620 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/min przez 20 sekund. Należy zaznaczyć, że przy 30% zawartości metanu w powietrzu wentylacyjnym ubytek zawartości tlenu wynosi 6,25%, tzn., że zawartość tlenu kształtowała się na poziomie ok. 14%.

Średnie stężenie metanu, na metanomierzu (MM142) zabudowanym w przecince z przekopu N-2 na poziomie 830, oddalonym od miejsca wyrzutu blisko o 3 km, wynosiło powyżej dopuszczalnej wartości 1,5% CH<sub>4</sub>, utrzymywało się przez około 5,5 godziny. Zagrożenie powstałe w wyniku przemieszczania się mieszaniny metanowej o wysokim ponad wybuchowym stężeniu było duże. W chodniku C-2 pokł. 363 wzrost metanu pojawił się po około 27 minutach, a maksymalne stężenie wynosiło 30% CH<sub>4</sub>

The methane concentration value which is most representative to describe the degree of methane hazards is the one in the ventilation incline up to the level of 1,000 m, registered by the MM134 methanometer. The methane concentration of above 30% was observed on this sensor till 12:23, i.e. about 11 minutes, while the absolute methane-bearing capacity in the ventilation incline was at that period higher than 340 m<sup>3</sup>/min. The maximum value of the absolute methane-bearing capacity in the ventilation incline up to the level of 1,000 m was 620 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/min for 20 seconds. It is important to note that with the 30% concentration of methane in the ventilation air, the decrease of oxygen concentration was 6.25%, which means that the oxygen content was at the level of about 14%.

The average methane concentration on the MM142 methanometer installed in the passage from the N-2 drift on the 830 level, which is almost 3 km away from the place of the outburst, was above the admissible value, and the 1.5% CH<sub>4</sub> concentration level remained there for about 5.5 hours. There was a significant hazard due to the movement of a methane mixture of high explosion concentration. In the C-2 gallery, bed 363, the increase of methane concentration occurred after about 27 minutes, and the maximum concentration was 30% CH<sub>4</sub>

(metanomierz MM16). Podwyższone stężenia metanu na podszybiu szybu #4 (M5 362) wystąpiło po blisko 50 minutach o wartości maksymalnej 2,8% CH<sub>4</sub>, która była zdecydowanie wyższa od dopuszczalnej przepisami 0,75% CH<sub>4</sub>. Natomiast przy szybie #5 (M5 274) podwyższone stężenie metanu wystąpiło po 94 minutach, a wartość maksymalna wyniosła 1,8% CH<sub>4</sub>.

## 2.2. Wyrzut metanu i skał w chodniku transportowym D-6 w pokł. 409/4 w KWK Zofiówka w 2005 roku

W dniu 22.11.2005 roku po wyrzucie metanu i skał w przodku chodnika transportowego D-6 pokł.409/4, kopalni Zofiówka, nastąpiły gwałtowne zmiany stężenia metanu zarejestrowane przez metanomierze zabudowane w tym chodniku. Zarejestrowane wartości stężeń metanu dochodziły nawet do 100% CH<sub>4</sub>. Tak gwałtowne zjawisko gazodynamiczne wyrzutu metanu i skał oraz towarzyszące mu zmiany stężenia metanu spowodowały, że metanomierze przodkowe przeszły w stan awarii, jednak wcześniej wyłączyły energię elektryczną w przodku. Dzięki prawidłowej reakcji metanomierzy nie nastąpiło zagrożenie wybuchem metanu od urządzeń elektrycznych.

Ten wyrzut metanu i skał uznano za średniej wielkości (Tor, Jakubów 2006), w czasie którego wydzielilo się 16 600 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>, a sumaryczną objętość mas powyrzutowych oszacowano na 320 m<sup>3</sup>. Stężenia metanu rejestrowane przez metanomierze w chodniku transportowym D-6 pokł. 409/4 pokazały, że jedynie metanomierz zlokalizowany na wylocie z chodnika pokazał pełny proces przejściowy charakterystyczny dla zjawiska gazodynamicznego jakim był wyrzut metanu i skał. Po gwałtownym wzroście stężenia metanu do 40% CH<sub>4</sub> nastąpiło powolne trwające około dwie godziny zanikanie stężenia metanu.

Powstałe po wyrzucie metanu w przodku chodnika transportowego D-6 pokł. 409/4 zaburzenie stężenia metanu w postaci „korka metanowego” przemieszczało się wzdłuż dróg wentylacyjnych aż do szybu i było rejestrowane przez kolejne metanomierze zabudowane wzdłuż tej drogi.

„Korek metanowy” o stężeniach alarmowych powyżej 2% CH<sub>4</sub> oraz powyżej progu wybuchowości (C>4.5% CH<sub>4</sub>) przemieszczał się wzdłuż dróg wentylacyjnych, a maksymalne stężenie malało z odległością, co było rejestrowane przez kolejne metanomierze (tabela 2).

(MM16 methanometer). The increased methane concentration at the bottom of the shaft #4 (M5 362) occurred after about 50 minutes and its value was 2.8% CH<sub>4</sub>, i.e. higher than the admissible 0.75% CH<sub>4</sub>. At the bottom of the shaft #5 (M5 274) the increased methane concentration occurred after 94 minutes and its maximum value was 1.8% CH<sub>4</sub>.

## 2.2. Methane and rocks outburst in the D-6 transportation gallery in the bed No 409/4 at the Zofiówka Coal Mine in 2005

On the 22nd of November 2005 there was a methane and rocks outburst at the headway of the D-6 transportation gallery, bed 409/4, at the Zofiówka Coal Mine. After the outburst there were violent changes in the values of methane concentration registered by methanometers installed in the bed. The registered values of methane concentration were as high as 100% CH<sub>4</sub>. Such a violent gas-dynamic phenomenon of methane and rock outburst, with the accompanying changes in methane concentration, made the face methanometers go into breakdown mode, however, before that, the meters had cut off the power supply in the bed. Thanks to the proper reaction of the methanometers, there was no methane explosion hazard resulting from electric devices.

This outburst of methane and rocks was recognized as a medium one (Tor, Jakubów 2006): during the outburst there were 16 600 m<sup>3</sup> of CH<sub>4</sub> released while the total volume of the post-outburst mass was estimated at 320 m<sup>3</sup>. The methane concentration values registered by the methanometers in the D-6 transportation gallery, bed 409/4, demonstrated that only the methanometer located at the exit of the gallery showed the full transition process characteristic of the methane and rock outburst phenomenon. After a violent increase of methane concentration to 40% CH<sub>4</sub> there was a slow decrease of this concentration which lasted about two hours.

After the methane outburst in the face of the D-6 transportation gallery in the bed 409/4 there was a disturbance of methane concentration, in the form of a “methane trap” which moved along the ventilation passages towards the shaft and was registered successively by all methanometers installed along the way.

The “methane trap” with the alarm-level concentration above 2% CH<sub>4</sub> and above the explosion threshold (C>4.5% CH<sub>4</sub>) moved along the ventilation passages and the maximum concentration was decreasing proportionally to the covered distance which was registered successively by methanometers (table 2).

Tabela 2/Table 2

**Czasy i stężenia krytyczne przy przejściu korka metanowego po wyrzucie**  
**Time and critical concentration of “methane trap” movement after the outburst**

Numer czujnika Sensor number	C>2% CH <sub>4</sub>		C>4.5% CH <sub>4</sub>		Maksymalna wartość % CH <sub>4</sub> Maximum value % CH <sub>4</sub>
	Czas Time	Czas trwania Duration	Czas Time	Czas trwania Duration	
108	8:44:47	117 min	8:44:57	53 min	50
75	8:45:17	66 min	8:45:37	30 min	46
76	8:45:27	74 min	8:45:37	34 min	42
72	8:45:47	50 min	8:45:57	27 min	30
71	8:46:27	48 min	8:46:37	30 min	28
70	8:46:07	42 min	8:46:07	27 min	30
80	8:46:07	44 min	8:46:07	26 min	28
137	8:52:27	39 min	8:52:27	20 min	24
140	8:54:37	43 min	8:55:07	21 min	20
138	9:00:26	45 min	9:01:36	30 min	18
143	9:04:16	19 min	9:05:46	14 min	12
142	9:04:36	35 min	9:05:56	16 min	12
291	9:09:15*	16min*			1.6

\*dla szybu wartość krytyczna 0,75% CH<sub>4</sub>

\* critical value for the shaft 0.75% CH<sub>4</sub>

Po około 26 minutach od wyrzutu metanu „korek metanu” dotarł do szybu wydechowego nr 4 i został zarejestrowany przez metanomierz M291. Maksymalne stężenie metanu zarejestrowane w szybie przekroczyło 1.6% CH<sub>4</sub>.

About 26 minutes after the outburst the “methane trap” reached the up-cast shaft No 4 and was registered by the M291 methanometer. The maximum concentration of methane registered in the shaft exceeded 1.6% CH<sub>4</sub>.

### 3. ZAŁOŻENIA KONSTRUKCYJNE ZINTEGROWANEGO CZUJNIKA WYRZUTU

Przeprowadzona analiza oraz rozpoznanie przebiegu wyrzutów (Pniówek 2002, Zofiówka 2005) pozwoliły na określenie czynników, które mogą być wykorzystane do wykrywania zaistniałego wyrzutu. Jest oczywiste, że konieczna jest szybka reakcja systemu przez natychmiastowe wyłączenie energii elektrycznej w celu ograniczenia skutków powstałego zdarzenia oraz uruchomienie układów sygnalizacji celem bezpiecznej ewakuacji załogi ze stref zagrożenia. Dla spełnienia tych warunków niezbędne jest opracowanie nowej lub modyfikacja istniejącej aparatury pomiarowej stosowanej w systemach metanometrii automatycznej z uwzględnieniem warunków wykrywania wyrzutu węgla i metanu.

Obserwacje zdarzeń i analizy efektów towarzyszących wyrzutom oraz wyniki przeprowadzonych badań, w tym również w warunkach eksperymentu, pozwoliły na sformułowanie wymagań dla konstrukcji detektorów do wykrywania wyrzutów.

### 3. CONSTRUCTION DETAILS OF THE INTEGRATED OUTBURST SENSOR

The conducted analysis and investigation of outburst processes (Pniówek 2002, Zofiówka 2005) allowed to determine the factors which can be used to detect the outburst. Obviously, it is necessary for the system to react quickly by an immediate power supply cut-off in order to diminish the consequences of the event, and to start up alarm systems in order to evacuate the personnel from the hazardous area. To fulfill these conditions, it is necessary to work out a new one or modify the existing measuring apparatus applied in automatic methane monitoring systems with respect to the conditions of coal and methane outburst detection.

The observation of events and analysis of the effects accompanying the outbursts, as well as the results of the conducted tests, including experiments, allowed to work out requirements for outburst detectors.

### Pomiar stężenia metanu

Podczas wyrzutu metanu w wyniku zjawiska gazo-dynamicznego następuje gwałtowna zmiana stężenia metanu w wyrobiskach otaczających. Towarzyszy temu przemieszczanie się „korcka metanowego” o stężeniach wybuchowych lub powstawanie atmosfery niezdolnej do oddychania wzdłuż dróg przepływu powietrza w sieci podziemnych wyrobisk.

Przyjęto, że czujnik metanu powinien zapewniać:

- dużą dynamikę pomiaru metanu,
- krótki czas zadziałania układów wyłączających energię elektryczną,
- natychmiastową i automatyczną sygnalizację stanów alarmowych i awaryjnych,
- pełny zakres pomiarowy 0÷100% CH<sub>4</sub>.

Badania czujnika metanu powinny obejmować w szczególności skuteczność metody pomiaru dla gwałtownego wzrostu metanu, w tym również w zakresie wysokich stężeń CH<sub>4</sub>. Równocześnie czujniki metanu znajdujące się w strefie bezpośredniego wyrzutu narażone są na uszkodzenie, które musi natychmiast wyzwać sygnały wyłączenia energii elektrycznej.

### Pomiar fali ciśnienia

Na skutek gwałtownego pojawienia się podczas wyrzutu dużych ilości gazów w przestrzeni wyrobiska, powstaje rozprzestrzeniająca się fala ciśnień.

Przyjęto, że czujnik ciśnienia powinien zapewniać:

- pomiar ciśnienia atmosferycznego w warunkach wyrobisk podziemnych (w zakresie od 800 do co najmniej 1200 hPa),
- umożliwiać pomiar gwałtownych zmian ciśnienia,
- być odporny na przeciążenia wywołane gwałtownym wzrostem ciśnienia.

W badaniach konieczna jest weryfikacja skuteczności metody pomiaru gwałtownego wzrostu ciśnienia w wyrobiskach. Równocześnie badania zmian ciśnienia w wyrobiskach kopalni (Wasilewski, 2009), pokazują szereg zaburzeń, które nie mogą wyzwać fałszywych alarmów. Wymaga to badań w warunkach eksperymentu w dużej skali w sztolni lub w warunkach rzeczywistych w wyrobiskach kopalni.

### Pomiar efektów akustycznych

Wyrzutom gazów i skał towarzyszą efekty akustyczne, które dziś mogą być wykrywane za pomocą różnych przetworników akustyczno-elektrycznych (mikrofonów). Zjawisko rozprzestrzeniania się fali akustycznej z dużą prędkością, podobnie jak fali ciśnienia, wydają się być najszybszymi oznakami wystąpienia wyrzutu, a zatem mogłyby stanowić podstawę do wyłączenia energii, znacznie wcześniej zanim nastąpi przekroczenie wartości krytycznej stężenia metanu.

### Methane concentration measurement

During a methane outburst there is a violent change of methane concentration in the surrounding excavations which occurs as a result of this gas-dynamic phenomenon. Additionally, along the air passages in the underground excavations, there moves a “methane trap” with explosion-level methane concentration values or the atmosphere becomes unsuitable for breathing.

It was assumed that the methane sensor should ensure the following:

- high dynamics of methane concentration measurement,
- short response time of power supply cut-off systems,
- immediate and automatic alarms and breakdown signals,
- full measuring range of 0÷100% CH<sub>4</sub>.

The tests of the methane sensor should comprise particularly the efficiency of the measuring method in the case of a violent increase in methane concentration, including high-range concentration of CH<sub>4</sub>. Simultaneously, methane sensors installed in the area in the closest vicinity of the outburst are vulnerable to damages which should immediately issue the signals to cut off power supply.

### Pressure wave measurement

During the outburst there is a violent release of a high volume of gases in the excavation. As a result of that, there appears a propagating pressure wave.

It was assumed that the pressure sensor should ensure the following:

- air pressure measurement in the conditions of underground excavations (in the range from 800 to at least 1,200 hPa),
- measurement of violent pressure changes,
- resistance to overload caused by a violent increase of pressure.

During the tests it is necessary to verify the efficiency of the method measuring the violent pressure increase in excavations. Simultaneously, the studies of pressure changes in mining excavations (Wasilewski, 2009) show a number of disturbances which should not issue false alarms. This requires to carry out large-scale experimental tests in an adit, or in real conditions in the excavations of a mine.

### Measurement of acoustic effects

The outbursts of gases and rocks are accompanied by acoustic effects which can be detected now by means of different acoustic and electric transducers (microphones). The phenomena of the quick propagation of an acoustic wave and a pressure wave seems to be the fastest occurring symptoms of the outburst. Therefore they could be the basis to cut off power supply much earlier, i.e. before the methane concentration exceeds its critical value.



Z drugiej jednak strony należy się liczyć z tłem akustycznym występującym w wyrobiskach kopalni z pracującymi maszynami, stąd konieczność przyjęcia metod i kryteriów rozróżnienia tła od sygnału pochodzącego od wyrzutu. To zagadnienie również wymaga badań w warunkach rzeczywistych w wyrobiskach kopalni. W przypadku pozytywnych wyników badań metoda ta pozwoli na szybkie i zdalne wykorzystanie efektów akustycznych wyrzutów do natychmiastowej reakcji czujnika.

Kolejnym problemem wymagającym badań jest ustalenie kryteriów detekcji sygnału wyrzutu, co jest o tyle istotne, że pociąga za sobą nie tylko wyłączenie energii w zagrożonym rejonie i na drogach przepływu powietrza, ale również ewakuację załogi z rejonów zagrożonych. Niezależnie od ustalenia w ramach wcześniej omówionych badań zakresu zmian sygnałów cząstkowych (stężenia metanu, ciśnienia, sygnału akustycznego) konieczne jest wprowadzenie do kryteriów dynamiki zmian tych sygnałów oraz zależności czasowych (opóźnień) między propagacją tych sygnałów w warunkach wyrobisk podziemnych. Mając na uwadze złożoność tych zagadnień oraz ograniczone możliwości przetwarzania sygnałów w sterownikach mikroprocesorowych zabudowanych w kopalnianych czujnikach przyjęto, że taka analiza oraz detekcja sygnału wyrzutu będzie prowadzona w stacji powierzchniowej.

Zintegrowany czujnik wyrzutu przeznaczony do pracy w trudnych warunkach podziemi kopalń metanowych musi spełniać warunki norm i przepisów górniczych w zakresie iskrobezpieczeństwa (ATEX) oraz wymagań środowiskowych.

#### **4. WŁASNOŚCI DYNAMICZNE CZUJNIKÓW POMIARU STĘŻENIA METANU**

Kluczowym elementem pomiarowym zintegrowanego czujnika wyrzutu jest niewątpliwie czujnik metanu o dużej dynamice. Kierunki rozwoju systemów metanometrii automatycznej w ostatnim trzydziestoleciu skupiały się na doskonaleniu czujników metanu głównie pod kątem poprawy własności dynamicznych oraz skracaniu czasu reakcji (wyłączenia energii elektrycznej). Niestety nawet w najnowszych systemach metanometrii automatycznej do pomiaru stężenia metanu stosowane są nadal czujniki z pelistorową komorą pomiarową przewietrzaną dyfuzyjnie. W tej kalorymetrycznej metodzie pomiaru, metan zawarty w próbce powietrza spala się, zmieniając temperaturę elementu żarowego. Metoda ta charakteryzuje się znaczną bezwładnością, która ma istotny wpływ na dynamikę.

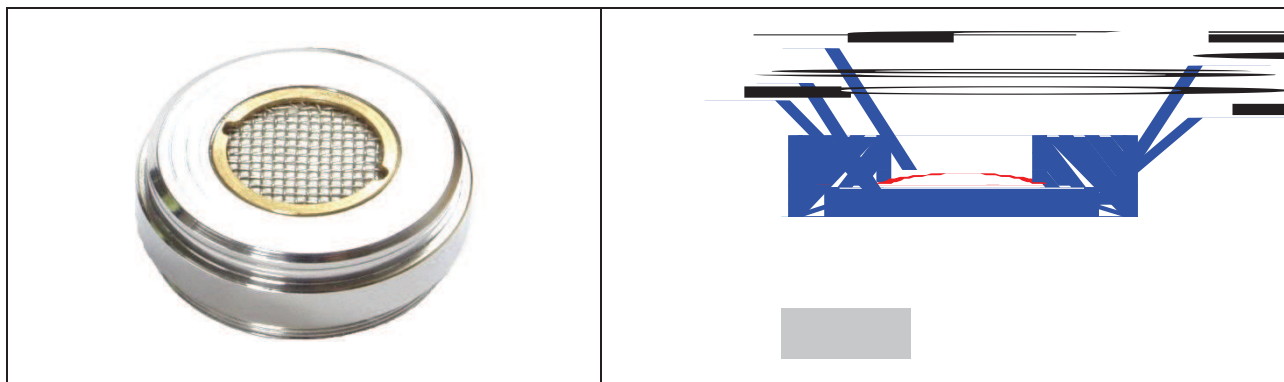
On the other hand, however, one has to take into account the acoustic background in the mining excavations where machines work. Thus it is necessary to take up methods and criteria to differentiate the background from the outburst-generated signal. This issue requires tests in the real conditions of mining excavations. In the case of favourable test results, the method will allow quick and remote-control use of acoustic effects of outbursts for immediate reaction of the sensor.

Another issue that requires testing is how to determine the outburst signal detection criteria. This issue is important due to the fact that it refers to not only the power supply cut-off in the hazardous area and air passages but also evacuation of the personnel from hazardous areas. Irrespective of the determination of the partial signals range (methane concentration, pressure, acoustic signal) within the previously described research, it is necessary to enter criteria for dynamic changes of these signals and time dependencies (delays) between the propagation of the signals in the conditions of underground excavations. Having in mind the complexity of these issues and limited possibilities of signal processing in micro-processor controllers working in coal mines, it was assumed that this analysis and outburst signal detection will be carried out in the surface station.

The integrated outburst sensor designed to work in the harsh conditions of the undergrounds of methane coal mines has to meet the conditions stipulated in mining standards and regulations in the range of intrinsically safe equipment (ATEX), as well as environmental requirements.

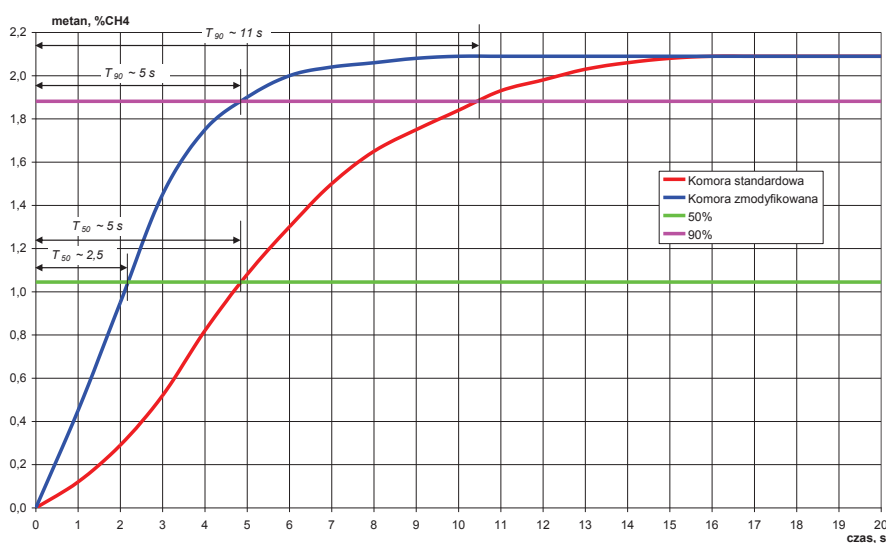
#### **4. DYNAMIC PROPERTIES OF SENSORS FOR METHANE CONCENTRATION MEASUREMENT**

The key measuring element of the integrated outburst sensor is, undoubtedly, a high-dynamics methane sensor. During the last 30 years the progress in the development of automatic methane measurement devices focused on improving methane sensors mainly with respect to improve their dynamic properties and shorten their response time (power supply cut-off). Unfortunately, even the recently developed automatic methane measuring systems still make use of sensors with a pellistor diffusion-ventilated measuring chamber to measure the concentration of methane. In this calorimetric measuring method, the methane contained in the air sample burns and changes the temperature of the incandescent element. The method has a high level of inertia which significantly influences dynamics.



Rys. 1. Widok i przekrój komory pomiarowej czujnika metanu (Krzystanek, Bojko, 2004)

Fig. 1. View and cross section of the measuring chamber of the methane sensor (Krzystanek, Bojko, 2004)



Rys. 2. Porównanie charakterystyk czasowych standardowej i zmodyfikowanej komory pomiarowej stężenia metanu

Fig. 2. Comparison of time characteristics of a standard and a modified chamber for methane concentration measuring

Własności dynamiczne dla stacjonarnych przyrządów do pomiaru stężenia metanu w wyrobiskach kopalni określa się (wg PN-EN 61779-2) za pomocą czasu odpowiedzi  $T_{90}$  i  $T_{50}$  na skokową zmianę stężenia metanu. Nie znajdując nowej zasady pomiaru metanu w wyrobiskach kopalni spełniającej wymagania, co do dokładności oraz dynamiki pomiaru poszukiwano poprawy własności dynamicznych w rozwiązaniach konstrukcji komory pomiarowej (Krzystanek, Bojko, 2004) oraz sposobie przetwarzania sygnału (Firganek, Rej 2002).

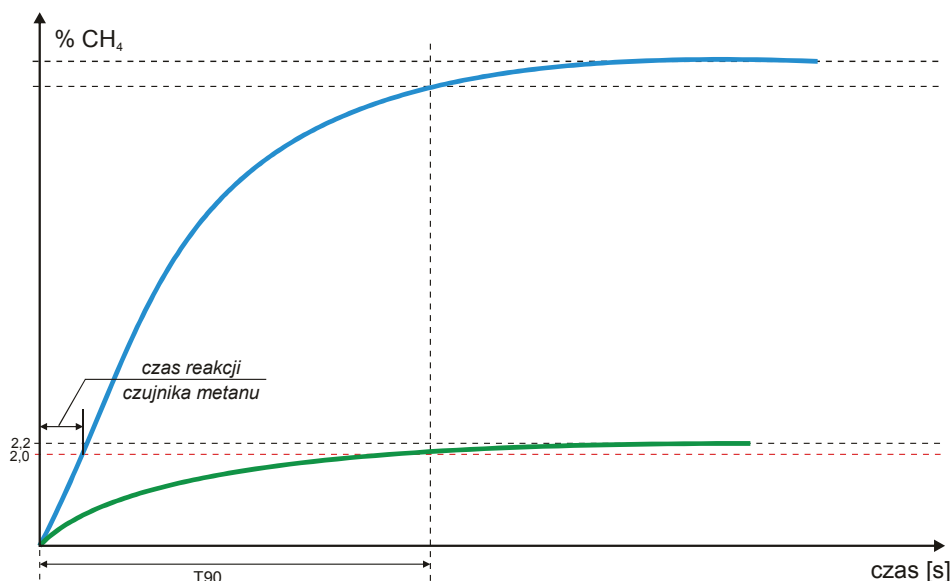
#### 4.1. Wpływ geometrii komory pomiarowej na czas odpowiedzi (Krzystanek, Bojko, 2004)

Elementy pomiarowe (pelistory) czujnika metanu są umieszczone w metalowej komorze pomiarowej (rys. 1). Mieszanka metanowo-powietrzna wpływa dyfuzyjnie do wnętrza komory poprzez porowatą

Dynamic properties for stationary devices which measure the concentration of methane in mining excavations are determined (according to the PN-EN 61779-2) by means of the response times  $T_{90}$  and  $T_{50}$  to the step change of methane concentration. As there was no method to measure methane concentration in mining excavations which would meet the requirements of measuring accuracy and dynamics, the research aimed at improving the dynamic properties in the structure of the measuring chamber (Krzystanek, Bojko, 2004) and in the processing signal (Firganek, Rej 2002).

#### 4.1. The impact of the measuring chamber geometry on the time of response (Krzystanek, Bojko, 2004)

The measuring elements (pellistors) of the methane sensor are placed in a metal measuring chamber (Fig. 1). The methane-air mixture is diffused into the chamber through a porous casing (sinter), which pro-



Rys. 3. Dynamika komory pomiarowej jako czas  $T_{90}$  dla niskich i wysokich stężeń metanu  
 Fig. 3. The dynamics of the measuring chamber as  $T_{90}$  time for low and high values of methane concentration

osłonę (spiek) chroniącą elementy pomiarowe przed uszkodzeniami mechanicznymi oraz przez filtr chroniący komorę przed czynnikami środowiskowymi (pył i wilgoć).

Badania prowadzone przez producentów metanomierzy pokazały, że decydujący wpływ na własności dynamiczne stosowanych czujników metanu mają dyfuzyjny dopływ gazu, objętość komory oraz jakość stosowanych filtrów i zabezpieczeń mechanicznych.

Dyfuzyjny dopływ gazu do komory wprowadza opóźnienie transportowe (zwłokę czasową). Obserwacje potwierdzają, że rodzaj oraz stopień zanieczyszczeń filtru wpływają również na szybkość wnikiwania dyfuzyjnego gazu, a zatem także opóźnienie transportowe. Dodatkowo te właśnie elementy mają istotny wpływ na czułość komory, co potwierdza praktyka użytkowania metanomierzy w wyrobiskach kopalni.

Objętość komory, ale również jej kształt mają wpływ na bezwładność układu pomiarowego, a zatem również własności dynamiczne czujnika metanu.

W wyniku badań nad skróceniem czasu reakcji metanomierza stwierdzono, że najlepsze wyniki można uzyskać dzięki odpowiedniemu ukształtowaniu komory pomiarowej oraz właściwy dobór filtra. W efekcie opracowano zmodyfikowaną komorę pomiarową w wykonaniu iskrobezpiecznym zgodnym z wymaganiami dyrektywy ATEX, wyposażoną w wymienny filtr hydrofobowo-chemiczny. Odpowiednia konstrukcja komory umożliwiła skrócenie czasu odpowiedzi  $T_{90}$  do 5 sekund. Odpowiedzi czasowe metanomierza na skok jednostkowy stężenia metanu po podaniu mieszanki wzorcowej 2,09%  $\text{CH}_4$  z za-

tektos measuring elements against mechanical damages, and through the filter which protects the chamber against environmental factors (dust and moisture).

The tests carried out by the manufacturers of methanometers demonstrated that there are several factors which have decisive influence on the dynamic properties of sensors: the diffusive inflow of gas, the volume of the chamber, and the quality of applied filters and mechanical protection measures.

The diffusive inflow of gas to the chamber causes transport delay (delay in time). The observations confirm that the type and degree of filter contaminations affect the velocity of the diffusion gas penetration, thus they affect the transport delay. Additionally, these elements have decisive influence on the sensitivity of the chamber, which is confirmed by practical use of methanometers in mining excavations.

The volume of the chamber and its shape influence the inertia of the measuring system, i.e. they affect the dynamic properties of the methane sensor.

The research to shorten the response time of the methanometer demonstrated that the best results can be achieved by a proper shape of the measuring chamber and a properly selected filter. For this reason, a modified measuring chamber was developed – an intrinsically safe one, made in accordance with the ATEX directive and equipped with a replaceable hydrophobic-chemical filter. A proper structure of the chamber made it possible to reduce the  $T_{90}$  response time to 5 seconds. Fig. 2 features the response times of the methanometer to the unit step of methane concentration after the application of the 2.09%  $\text{CH}_4$  standard mixture, with the preserved conditions of

chowaniem warunków kalibracji czujników metanu (25 l/min) dla standardowej i zmodyfikowanej komory porównano na rysunku 2.

Czasy odpowiedzi  $T_{50}$  i  $T_{90}$  oszacowano bezpośrednio z wykresów charakterystyk czasowych, wykreślając linie równoległe do osi czasu na poziomach odpowiadających 50% i 90% wartości ustalonej sygnału wyjściowego, uzyskując następujące wartości:

- dla komory standardowej  
 $T_{50} \cong 5$  sekund,  $T_{90} \cong 11$  sekund,
- dla komory zmodyfikowanej  
 $T_{50} \cong 2,5$  sekund,  $T_{90} \cong 5$  sekund.

W ten sposób optymalizując geometrię komory uzyskano znaczne skrócenie czasów odpowiedzi, poprawiając własności dynamiczne czujników metanu.

#### 4.2. Wpływ wysokich stężeń na czas reakcji

Uzyskane czasy odpowiedzi  $T_{90}$  zmodyfikowanej komory z filtrem, na poziomie ok. 5 sekund, wydają się być krańcem możliwości, stosowanej obecnie metody pomiaru stężenia metanu wykorzystującej zjawisko dyfuzji oraz spalania metanu na pelistorze w komorze chronionej filtrem. Należy jednak pamiętać, że czasy odpowiedzi  $T_{90}$  określa się zgodnie z przyjętą procedurą kalibracji metanomierzy dla mieszanki wzorcowej o stężeniu około 2,1-2,2%  $\text{CH}_4$ .

W czasie zarejestrowanych wyrzutów metanu, w strefie wyrzutu, ale również w pewnej odległości od miejsca zdarzenia, następował gwałtowny wzrost stężenia metanu nawet do wartości ponad 80%  $\text{CH}_4$ . Wówczas czas reakcji, czyli wyłączenia energii elektrycznej i uruchomienia sygnalizacji alarmowej, będzie znacznie krótszy niż  $T_{90}$ , dla mieszanki wzorcowej 2,2%  $\text{CH}_4$ , co pokazano na rysunku 3. Oznacza to, że metanomierz wcześniej wykryje przekroczenie wartości krytycznej 2%  $\text{CH}_4$ , a zatem wyłączy energię elektryczną w czasie krótszym niż 5 sekund, co będzie korzystne dla skuteczności zabezpieczeń metanometrycznych w przypadku wystąpienia wyrzutu metanu i skał.

#### 4.3. Wpływ różniczkowania sygnału pomiarowego (Firganek, Rej 2002)

Próby poprawy dynamiki czujników stężenia metanu i przyspieszenia wyłączenia energii elektrycznej w systemach metanometrii automatycznej były również podejmowane przez producentów czujników metanu. Firma MICON w swoich badaniach przyjęła, że skrócenie czasu odpowiedzi metanomierza na skokowy wzrost stężenia metanu jest możliwe przez prognozowanie wartości stężenia na podstawie oceny

methane sensors calibration (25l/min), for a standard and a modified chamber

The  $T_{50}$  and  $T_{90}$  response times were estimated directly from the diagrams of time characteristics by drawing lines parallel to the time axis on the levels corresponding to 50% and 90% of the output signal set value. The following values were achieved:

- for a standard chamber  
 $T_{50} \cong 5$  seconds,  $T_{90} \cong 11$  seconds,
- for a modified chamber  
 $T_{50} \cong 2.5$  seconds,  $T_{90} \cong 5$  seconds.

This way, by optimizing the geometry of the chamber, the response times were shortened which contributed to better dynamic properties of methane sensors.

#### 4.2. The impact of high concentrations on reaction time

The obtained  $T_{90}$  response times of the modified chamber with a filter – of about 5 seconds, seem to be the extreme value of the currently used method for measuring methane concentration which makes use of diffusion and methane combustion on a pellistor in a filter-protected chamber. One should remember, however, that the  $T_{90}$  response times are determined according to the adopted methanometers calibration procedure for a standard mixture of about 2.1-2.2%  $\text{CH}_4$ .

During the registered methane outbursts there was a violent increase of methane concentration – as much as over 80%  $\text{CH}_4$ , both in the outburst area and within some distance from the place where the event occurred. Then the reaction time, i.e. power supply cut-off and alarm switch-on, will be much shorter than  $T_{90}$  for the standard mixture 2.2%  $\text{CH}_4$ , which was presented in Fig. 3. This means that the methanometer will detect the exceeded critical value of 2.2%  $\text{CH}_4$  earlier, thus it will cut the power supply off in a time shorter than 5 seconds. This will be beneficial for the efficiency of methane-protection devices in the event of a methane and rocks outburst.

#### 4.3. The influence of the measuring signal differentiation (Firganek, Rej 2002)

The manufacturers of methane sensors have attempted to improve the dynamics of methane concentration sensors and to shorten the time of power supply cut-off in automatic methane monitoring systems. The MICON company undertook some research and assumed that a shorter reaction time of a methanometer to the step increase of methane concentration is possible by predicting the concentration value based

szybkości narastania (pochodnej) sygnału pomiarowego. Była to w istocie metoda różniczkowania sygnału wyjściowego z komory pomiarowej. Zastosowanie tej metody umożliwiło kilkukrotne skrócenie czasu odpowiedzi metanomierza (Firganek i Rej 2002), jednak badania przeprowadzone w warunkach kopalni pokazały, istotne wady tej metody. Okazało się, że sygnał z komory pomiarowej był zależny nie tylko od szybkości zmian stężenia metanu, ale również czynników zakłócających, jak nagłe zmiany prędkości przepływu powietrza czy skokowe zmiany ciśnienia, np. wywołane zamknięciem lub otwarciem tam wentylacyjnych. Dodatkowo stwierdzono znaczne rozrzuty parametrów filtrów stosowanych w komorach pomiarowych utrudniające prawidłowy dobór stałych czasowych, a w szczególności często stosowana przez kopalnie praktyka usuwania zanieczyszczonych filtrów bez montowania w ich miejsce filtrów sprawnych.

Wyniki badań w warunkach kopalnianych pokazały, że metoda różniczkowania wprawdzie daje możliwości znacznego skrócenia czasu odpowiedzi metanomierza, to jednak nie gwarantuje stabilnej pracy metanomierza w zmiennych warunkach eksploatacyjnych. Czynniki zakłócające prowadziły do fałszywych alarmów i wyłączeń energii elektrycznej, nawet gdy stężenie metanu było poniżej wartości krytycznych. To zadecydowało, że metoda różniczkowania sygnału wyjściowego komory pomiarowej jako sposób na skrócenie czasu odpowiedzi czujników metanu w systemach metanometrii automatycznej, została odrzucona.

## 5. MODEL ZINTEGROWANEGO CZUJNIKA WYKRYWANIA WYRZUTU

Przyjęte w projekcie wymagania i założenia dla czujnika wykrywania wyrzutu w oparciu o połączenie wskaźników; gwałtownego wzrostu metanu, pojawienia się fali akustycznej i gwałtownego wzrostu ciśnienia powietrza, pozwoliły nazwać ten czujnik jako „Zintegrowany czujnik wykrywania wyrzutu CW-1”. Na podstawie rozpoznania i przyjętych założeń uznano, że obecnie najlepszym rozwiązaniem jest opracowanie takiego czujnika na bazie metanomierza MM-2P lub MM-4 produkcji Centrum EMAG. W tej sytuacji zlecono do Centrum EMAG wykonanie modelu czujnika, który został wykonany (Krzykawski i inni, 2007) i po badaniach konstruktorskich (Materiały EMAG, 2008) przekazany do IMG PAN, celem przeprowadzenia dalszych badań.

on the assessment of the escalation speed (derivative) of the measuring signal. This was, in fact, the differentiation method of the output signal coming from the measuring chamber. The use of this method enabled to make the response time of the methanometer a few times shorter (Firganek, Rej 2002). Still, it turned out that the signal from the measuring chamber depended not only on the speed of methane concentration changes but also on the disturbing factors, such as sudden changes in the speed of air flow or step changes in pressure, for example those caused by closing or opening air dams. Additionally, there was a significantly wide dispersion of parameters of the filters used in measuring chambers. This made it difficult to properly select time constants. Another disadvantage was the habit to remove contaminated filters without installing well operating filters as their replacements – a situation frequently observed in coal mines.

The results of tests carried out in mining conditions demonstrated that the differentiation method makes it possible to shorten the response time of the methanometer, however it does not guarantee that the meter will work in a stable manner in the changing operating conditions. The disturbing factors caused false alarms and power supply cut-offs even when methane concentration was below critical values. For this reason, the method of differentiating the output signal from the measuring chamber was rejected as a way to shorten the response time of methane sensors in automatic methane monitoring systems.

## 5. THE MODEL OF THE INTEGRATED OUTBURST DETECTION SENSOR

The new sensor was called the *CW-1 integrated outburst detection sensor* due to the requirements stipulated in the project and the assumptions for the outburst detection sensor based on the integration of indicators, such as: violent increase of methane concentration, acoustic wave, and violent increase of air pressure. It was assumed that the best solution is to develop a sensor on the basis of the MM-2P or MM-4 methanometers manufactured by EMAG. Therefore, an order was placed with EMAG to make a model of the sensor. The model was made (Krzykawski, et al., 2007) and, after construction tests (Reports, EMAG, 2008) handed over to the Strata Mechanics Research Institute of the Polish Academy of Sciences for further tests.

### 5.1. Dane techniczne modelu zintegrowanego czujnika wykrywania wyrzutu

• zakres pomiarowy stężenia metanu:	0-100% CH <sub>4</sub> w dwóch podzakresach 1) 0-5% CH <sub>4</sub> 2) 5-100% CH <sub>4</sub>
• błąd podstawowy:	± 0,1% CH <sub>4</sub> dla stężeń 0 - 2% CH <sub>4</sub> ± 5% wartości wskazania dla stężeń 2-5% CH <sub>4</sub> ± 3% CH <sub>4</sub> dla stężeń 5-60% CH <sub>4</sub> ± 5% wartości wskazania dla stężeń 60-100% CH <sub>4</sub>
• przewietrzanie komory pomiarowej:	dyfuzyjne
• detektory:	pelistorowy 0-5% CH <sub>4</sub> termokonduktometryczny 5-100% CH <sub>4</sub>
• czas odpowiedzi T <sub>90</sub> detektora CH <sub>4</sub> :	5 s
• zakres pomiarowy ciśnienia:	800-1200 hPa
• błąd nieliniowości czujnika ciśnienia:	0,5%
• maksymalne ciśnienie:	4000 hPa
• czujnik akustyczny:	mikrofon
• zasilanie:	ze stacji powierzchniowej 56 V, 40 mA
• wyjścia wyłączające:	dwa, z niezależnie ustawianymi progami zadziałania, izolowane galwanicznie od układu metanomierza
• wejścia dwustanowe:	dwa, współpracujące z beznapięciowymi stykami, z kontrolą zwarcia linii
• bateria akumulatorów:	7.2 V/ 500 mAh
• standard transmisji:	V23, po linii zasilającej
• liczba metanometrii na linii:	maksymalnie dwa
• zakres temperatur pracy:	-20°C - +40°C
• zakres wilgotności względnej:	0 – 95% wilgotności. wzgl. (bez kondensacji)
• wymiary gabarytowe:	123 × 180 × 58 mm
• masa	ok. 2,5 kg
• stopień ochrony obudowy:	IP54
• cecha budowy przeciwwybuchowej:	EExi <sub>a</sub> /II (CH <sub>4</sub> )

### 5.1. Technical data of the model of the integrated outburst detection sensor

• methane concentration measuring range:	0-100% CH <sub>4</sub> in two sub-ranges 1) 0-5% CH <sub>4</sub> 2) 5-100% CH <sub>4</sub>
• basic error:	± 0,1% CH <sub>4</sub> for concentration values 0-2% CH <sub>4</sub> ± 5% of the reading for concentration values 2 - 5% CH <sub>4</sub> ± 3% CH <sub>4</sub> for concentration values 5- 60% CH <sub>4</sub> ± 5% of the reading for concentration values 60-100% CH <sub>4</sub>
• measuring chamber ventilation:	diffusion
• detectors:	pellistor detector 0-5% CH <sub>4</sub> thermal conductivity detector 5-100% CH <sub>4</sub>
• response time T <sub>90</sub> of CH <sub>4</sub> detector:	5 seconds
• pressure measuring range:	800-1200 hPa
• non-linearity error of the pressure sensor:	0,5%
• maximum pressure:	4000 hPa
• acoustic sensor:	microphone
• power supply:	from the surface station 56 V, 40 mA
• cut-off outputs:	two, with independently set thresholds, with galvanic separation from the methanometer
• bi-stable inputs:	two, co-operating with dry contacts, with short-circuit control of lines
• battery:	7.2 V/ 500 mAh
• transmission standard:	V23, along the power supply line
• number of methanometers on a line:	maximum two
• working temperature range:	-20°C - +40°C
• relative humidity range:	0 – 95% relative humidity (without condensation)
• size:	123 × 180 × 58 mm
• weight:	about 2,5 kg
• casing protection degree:	IP54
• explosion-proof structure:	EExi <sub>a</sub> /II (CH <sub>4</sub> )

## 5.2. Badania konstruktorskie zintegrowanego czujnika wykrywania wyrzutu

Badania konstruktorskie zostały wykonane w laboratorium Centrum EMAG i przekazane do IMG PAN (Materiały EMAG, 2008) wraz z modelem. Wyniki badań konstruktorskich zostały wykorzystane w dalszej części badań laboratoryjnych w projekcie.

### Badanie pelistorowego detektora metanu

Badanie pelistorowego detektora metanu prowadzono z wykorzystaniem mieszanek wzorcowych metanu i azotu. Mieszanki wzorcowe z butli podłączane były poprzez reduktor ciśnienia oraz przepływomierz (rys. 4) do nasadki kalibracyjnej nałożonej na komorę pomiarową stężenia metanu czujnika CW-1. Sygnał wyjściowy odpowiadający danemu stężeniu jako wartość napięcia odczytywano z czujnika CW-1.

Pomiaru i rejestracji napięcia na wyjściu pelistorowego detektora metanu dokonywano za pomocą multimetru METRA Hit 30M. Sygnałowi wyjściowemu z pelistorowego detektora metanu dla mieszanek w zakresie  $0 \div 5\%$  CH<sub>4</sub> odpowiadało napięcie  $0,4 \div 2,0$  V. Na podstawie danych wyznaczono charakterystykę statyczną pelistorowego detektora metanu (rys. 5).

Następnie wykonano charakterystyki dynamiczne w postaci odpowiedzi na skok stężenia metanu w zakresie niskich i wysokich stężeń metanu. Podczas kolejnych dwóch prób (próba 1 i próba 2) wyznaczano odpowiedź pelistorowego detektora metanu na skok jednostkowy, podając skokowo gaz o stężeniu  $2\%$  CH<sub>4</sub> (zakres niskich stężeń). Podobne badania pelistorowego detektora metanu wykonano również dla dwóch prób (próba 1 i próba 2) w zakresie wysokich stężeń, dla mieszanki o stężeniu  $50\%$  CH<sub>4</sub>, poszukując odpowiedzi komory na skok jednostkowy. Odpowiedzi pelistorowego detektora metanu w zakresie niskich i wysokich stężeń dla poszczególnych prób porównano na rysunkach 6 i 7.

Charakterystyki porównawcze zarówno w zakresie niskich stężeń (rys. 6) jak i wysokich stężeń (rys. 7) metanu pokazują bardzo dobrą zgodność i powtarzalność uzyskanych charakterystyk dla obu prób zarówno w zakresie niskich jak i wysokich stężeń.

### Badania czujnika ciśnienia HCX002

Badania polegały na zdjęciu charakterystyki statycznej czujnika ciśnienia i porównania jej z charakterystyką wzorcową czujnika Vaisala PTB 220AAB2A1. Ciśnienie wzorcowe podawano przy pomocy ręcznej pompy testowej firmy Druck Ltd.

## 5.2. Construction tests of the integrated outburst detection sensor

The construction tests were carried out in EMAG's laboratory and their results were handed over to the Strata Mechanics Research Institute of the Polish Academy of Sciences (Reports, EMAG, 2008), along with the model. The results of the tests were used in the further part of laboratory tests conducted within the project.

### Tests of the pellistor methane detector

The tests of the pellistor methane detector were carried out with the use of standard methane and nitrogen mixtures. The standard mixtures in a bottle were connected by means of a reducing valve and a flow meter (Fig. 4) with the calibration hood placed onto the methane concentration measuring chamber of the CW-1 sensor. The output signal corresponding to the given concentration was read on the CW-1 sensor in the form of a voltage value.

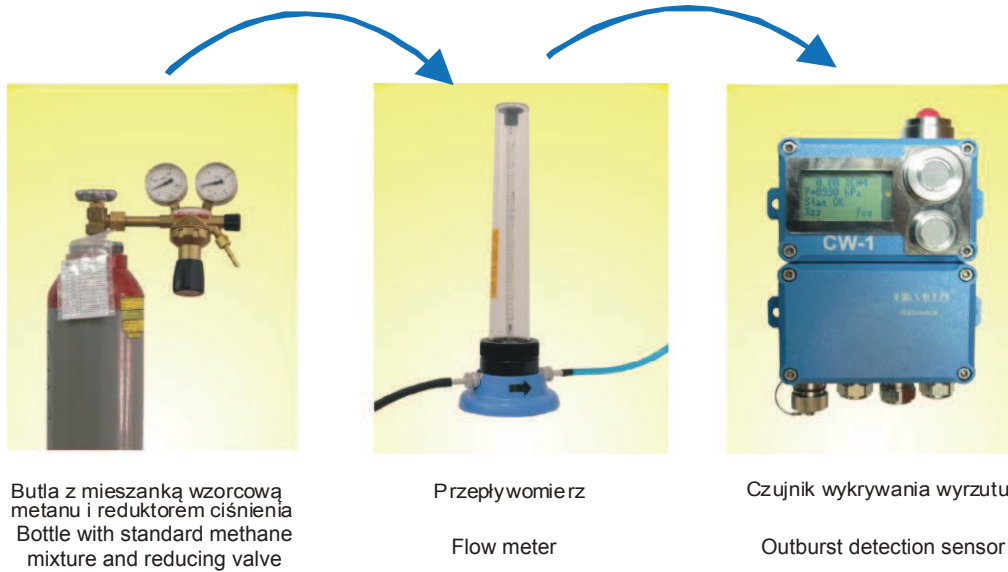
The measurement and registration of voltage at the output of the pellistor methane detector was carried out by means of the METRA Hit 30M multi-meter. The output signal from the pellistor methane detector for the mixtures in the range of  $0 \div 5\%$  CH<sub>4</sub> had a voltage value of  $0.4 \div 2.0$  V. On the basis of these data the static characteristics of the pellistor methane detector was determined (Fig. 5).

Then the dynamic characteristics were determined in the form of responses to the step increase of methane concentration in the range of low and high methane concentrations. During two successive tests (No1 and No 2) the response of the pellistor methane detector to the unit step was determined by means of the step application of gas with the  $2\%$  CH<sub>4</sub> concentration (low concentration range). Similar tests of the pellistor methane detector were conducted for No 1 and No 2 in the range of high concentration for a mixture of  $50\%$  CH<sub>4</sub> concentration in an attempt to find the response of the chamber to the unit step. The responses of the pellistor methane detector in the range of low and high concentrations for particular tests were compared in Fig. 6 and 7.

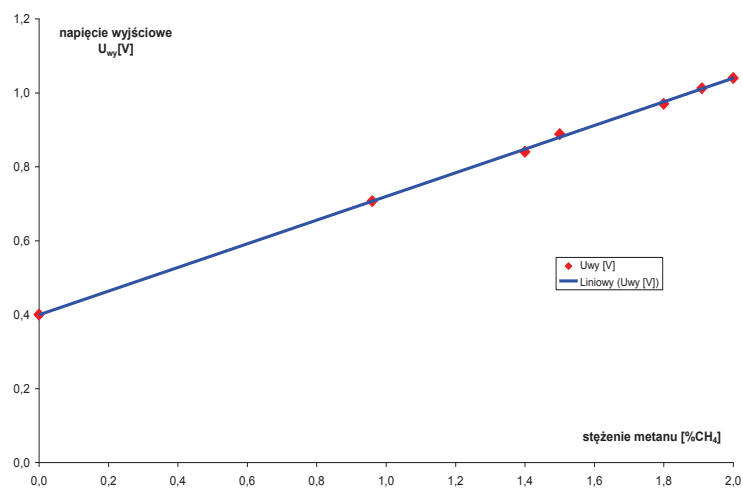
The comparative characteristics, both in the range of low (Fig. 6) and high methane concentrations (Fig. 7), show very good conformity and repeatability of the achieved characteristics for the two tests both in the low and high concentration range.

### Tests of the HCX002 pressure sensor

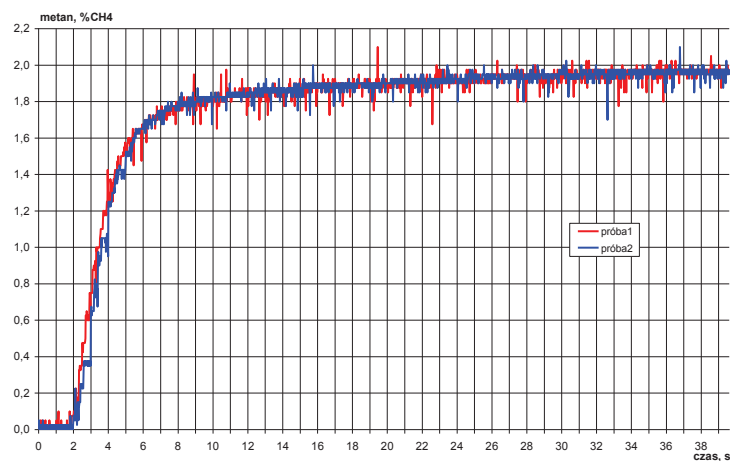
The tests dealt with the determination of the static characteristics of the pressure sensor and its comparison with the standard characteristics of the Vaisala PTB 220AAB2A1 sensor. The standard pressure was administered by means of a manual pump made by



Rys. 4. Schemat wyznaczenia charakterystyki statycznej pelistorowego detektora metanu  
Fig. 4. Diagram of determining the static characteristics of the pellistor methane detector

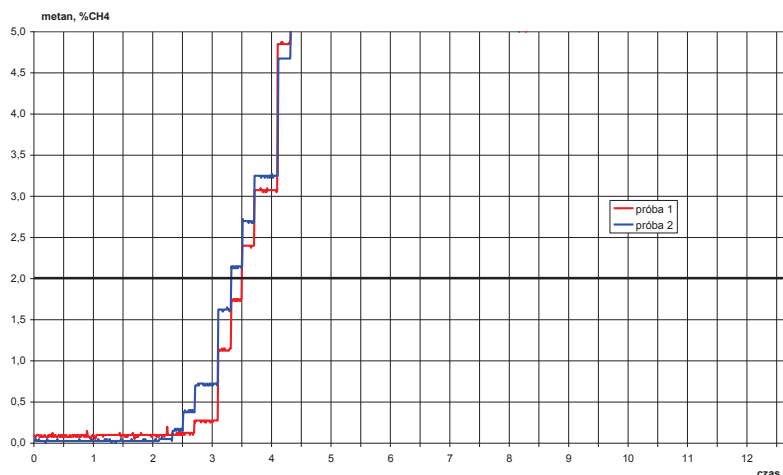


Rys. 5. Charakterystyka statyczna pelistorowego detektora metanu  
Fig. 5. Static characteristics of the pellistor methane detector



Rys. 6. Porównanie odpowiedzi pelistorowego detektora metanu na skok 2% CH<sub>4</sub>  
Fig. 6. Comparison of responses of the pellistor methane detector to the 2% CH<sub>4</sub> step





Rys. 7. Porównanie odpowiedzi pelistorowego detektora metanu na skok 50% CH<sub>4</sub>  
 Fig. 7. Comparison of responses of the pellistor methane detector to the 50% CH<sub>4</sub> step



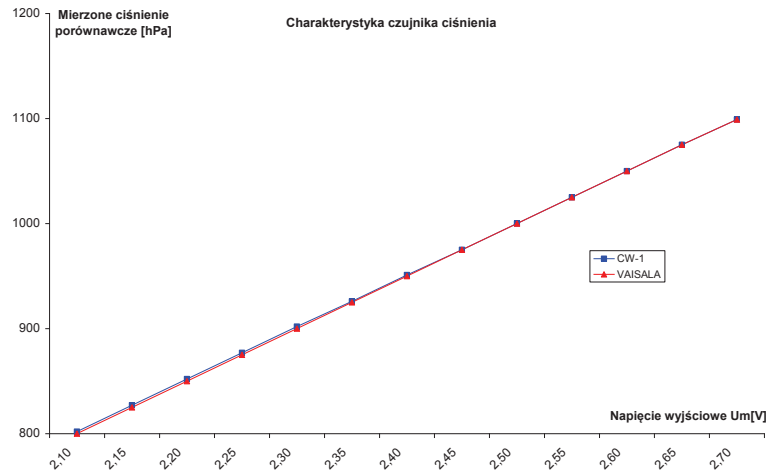
Rys. 8. Schemat kalibracji i zdejmowania charakterystyki statycznej czujnika ciśnienia  
 Fig. 8. Diagram of calibration and determination of static characteristics of the pressure sensor

o zakresie 40 bar. Pompa została przyłączona za pomocą przewodu pneumatycznego, oraz trójników i króćców przyłączeniowych (rys. 8) do miernika ciśnienia Vaisala PTB o zakresie: 500÷1100 hPa oraz do czujnika ciśnienia, typu HCX002 o zakresie 800÷2000 hPa zabudowanego wewnątrz czujnika CW-1.

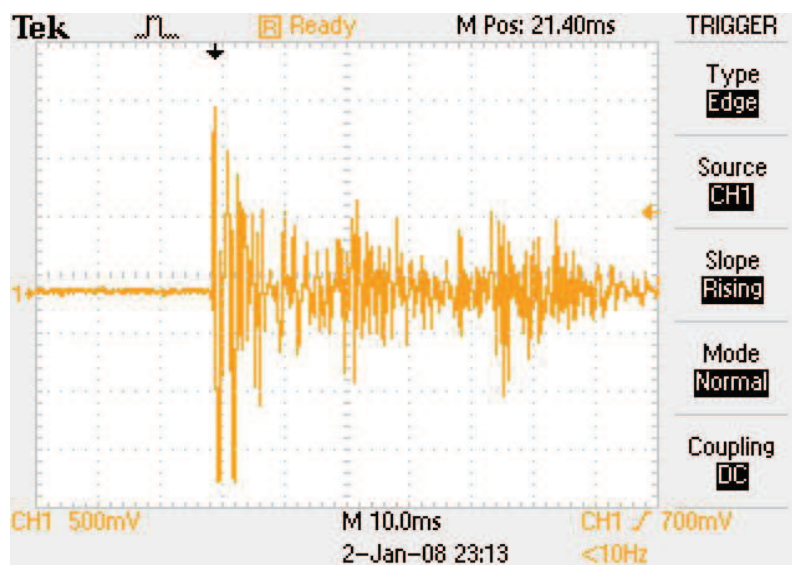
W czasie badań zadawano ciśnienia w zakresie 800÷1100 hPa za pomocą pompy testowej i porównywano wskazania obu czujników. Pomiaru i rejestracji napięcia na wyjściu przetwornika ciśnienia stanowiącego element czujnika CW-1 dokonywano za pomocą multimetru METRA Hit 30M, rejestrując napięcia wyjściowe w zakresie 2,101÷2,901V. Dla porównania dokonywano odczytu ciśnienia odniesienia z czujnika ciśnienia Vaisala PTB. Na podstawie

of a pneumatic wire, T-connections and adapters (Fig. 8) with the Vaisala PTB pressure meter of the range 500 ÷ 1100hPa, and with the HCX002 pressure meter of the range 800 ÷ 2000hPa embedded in the CW-1 sensor.

During the tests there was 800 ÷ 1100hPa pressure administered by means of a pump and the readings of both sensors were compared. The measurement and registration of voltage at the output of the pressure transducer, which is an element of the CW-1 sensor, was made by means of the METRA Hit 30M multimeter, by registering output voltage values in the range of 2.101 ÷ 2.901V. For comparative reasons, the corresponding pressure from the Vaisala PTB sensor was read. Based on the obtained results the



Rys. 9. Charakterystyki statyczne przetwornika ciśnienia HCX002 i miernika Vaisala PTB  
 Fig. 9. Static characteristics of the HCX002 pressure transducer and the Vaisala PTB meter



Rys. 10. Sygnał z mikrofonu na skokowy wzrost natężenia dźwięku  
 Fig. 10. Signal from the microphone as a response to the step increase in sound intensity

uzyskanych wyników wykreślono charakterystyki statyczne przetwornika ciśnienia oraz miernika Vaisala PTB (rys. 9).

#### Badanie mikrofonu

Badania mikrofonu miały charakter jakościowy. Ze względu na brak możliwości określenia natężenia i częstotliwości sygnału dźwiękowego i zdjęcia charakterystyki, zarejestrowano jedynie sygnał z mikrofonu na wymuszony sygnał dźwiękowy. Uzyskany wynik miał zatem charakter poglądowy, ale potwierdził rejestrację zmian sygnału dźwiękowego oraz możliwość wykorzystania gwałtownych zmian natężenia dźwięku jako jednego ze wskaźników zaistnienia wyrzutu.

Na rysunku 10 przedstawiono odpowiedź mikrofonu na skokowy wzrost natężenia dźwięku.

static characteristics of the pressure transducer and the Vaisala PTB meter were determined (Fig. 9).

#### Microphone tests

The tests of the microphone were of a qualitative character. As it was impossible to determine the intensity and frequency of the acoustic signal and to determine the characteristics, only the signal from the microphone to a forced acoustic signal was registered. Therefore the obtained result was of a demonstrative character. Still, it confirmed the registration of the acoustic signal changes and the possibility to use violent changes in the sound intensity as one of the outburst indicators.

## 6. PODSUMOWANIE

Wyrzuty metanu i skał, które miały miejsce w kopalni Pniówek i Zofiówka potwierdziły potencjalne zagrożenie związane z tym zjawiskiem przy rosnącej głębokości eksploatacji w kopalniach.

Stany nieustalone parametrów powietrza w czasie wyrzutu metanu i skał mają bardzo gwałtowny przebieg. Dotyczy to pojawienia się znacznych zaburzeń stężenia metanu w momencie i po wyrzucie metanu w szczególności w pobliżu miejsca zdarzenia. Gwałtowny przebieg zdarzeń po wyrzutach wymaga, aby stosowane czujniki metanu w rejonach szczególnego zagrożenia wyrzutami charakteryzowały się dużą dynamiką i krótkim czasem reakcji dla wyłączenia energii elektrycznej.

W projekcie przyjęto, że do wykrywania momentu wyrzutu konieczne jest wykorzystanie nie tylko gwałtownego wzrostu metanu, ale także innych oznak wyrzutu, np. gwałtownego wzrostu ciśnienia czy wystąpienia sygnału akustycznego. Opracowano założenia oraz wykonano *Zintegrowany czujnik wykrywania wyrzutu typu CW-1*, którego badania modelowe potwierdziły poprawność przyjętych rozwiązań. Przeprowadzone dalsze badania laboratoryjne oraz poligonowe pokazały skuteczność działania czujnika na gwałtowne zmiany parametrów w czasie symulowanych wybuchów. Wyniki tych badań po analizie szczegółowej zostaną opublikowane.

Kolejnym etapem będą badania w warunkach rzeczywistych zagrożeń i środowiskowych panujących w wyrobiskach kopalni. Dotychczasowe badania pokazały skuteczność pomiaru ciśnienia bezwzględnego i jego zaburzeń z równoczesnym pomiarem stężenia metanu w wyrobisku kopalni, co może dać nowe narzędzie do monitorowania parametrów powietrza i wykrywania zagrożeń. Badania ruchowe mogą zatem pokazać szersze zastosowanie zintegrowanego czujnika.

*Podziękowanie:* Autor wyraża podziękowanie Dariuszowi Krzykawskiemu z Centrum EMAG za udostępnienie opisów, zdjęć i niektórych wyników z badań konstruktorskich.

*Pracę wykonano w ramach projektu rozwojowego N R09 0004 04, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.*

## 6. CONCLUSIONS

The outbursts of methane and rocks which took place in the Pniówek and Zofiówka Coal Mines confirmed the potential hazard related to this phenomenon increasing proportionally to the exploitation carried out at deeper and deeper beds.

The transient states of air parameters during a methane and rock outburst have very violent courses. This refers to the appearance of significant disturbances of methane concentration at the time of the outburst and after it, particularly in the close vicinity of the event. The violent course of events that occur after the outbursts requires that methane sensors in the areas specially vulnerable to outbursts should have high dynamics and short response time as far as power supply cut-offs are concerned.

In the project it was assumed that in order to detect the moment of outburst it is necessary to make use of not only the violent increase of methane concentration but also other indicators of the outburst, such as violent pressure increase or acoustic signal. The *CW-1 integrated outburst detection sensor* was developed and produced. Model tests of the sensor proved that the applied solutions had been appropriate. Further tests conducted in a laboratory and proof ground demonstrated the efficiency of the sensor with respect to violent parameter changes during simulated explosions. The results of these tests will be published after a detailed analysis.

The next stage of the project will be tests in real hazardous conditions in the mining-excavations environment. So far, the test have demonstrated the efficiency of measuring absolute pressure and its disturbances with simultaneous measurements of methane concentration in an excavation. This may be the basis for a new tool to monitor air parameters and detect hazards. Thus operational tests may show a wider application range of the integrated sensor.

*Acknowledgements:* the author wishes to thank Mr Dariusz Krzykawski from EMAG for giving access to descriptions, photographs and some results of construction tests.

*The work was conducted within the development project N R09 0004 04 financed by the Ministry of Science and Higher Education*

## Literatura

1. *Bodziony J. i inni*, 1997: Analiza i ocena stanu zagrożenia wyrzutami metanu i skał oraz stosowanych metod profilaktyki w kopalniach Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A., IMG PAN Kraków, (niepublikowana).
2. *Firganek B., Rej A.* 2002: Pomiar czasu odpowiedzi czujników metanu. Miesięcznik WUG nr 11/2002.
3. *Jakubów A., Tor A., Tobiczak S.*, 2003: Wyrzut metanu i skał w drążonej lunecie rurowej do szybu II na poziomie 1000 m w KWK Pniówek – okoliczności, przyczyny i skutki. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Wyd. CPPGSMiE, PAN. Wykłady, nr 25, Kraków.
4. *Krzykawski D. i inni* 2007: Zintegrowany czujnik wykrywania wyrzutu. Dokumentacja Centrum EMAG, Numer pracy 42 0255 7, Katowice grudzień 2007.
5. *Krzystanek Z., Bojko B.* 2004: Próba oceny dynamicznych własności pelistorowego czujnika do ciągłego pomiaru stężenia metanu. Materiały 3 Szkoły Aerologii Górniczej, Zakopane, str. 591-597.
6. *Tor A., Jakubów A.*, 2006: Wyrzuty metanu i skał w kopalniach Jastrzębskiej Spółki Węglowej S. A. Materiały 4 Szkoły Aerologii Górniczej, Kraków, str. 159-175.
7. *Wasilewski S.*, 2005, Stany nieustalone parametrów powietrza wywołane katastrofami oraz zaburzeniami w sieci wentylacyjnej kopalni. Rozprawy i Monografie. Centrum EMAG.
8. *Wasilewski S.*, 2009: Badania zmian ciśnienia barometrycznego w kopalniach głębinowych Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, Miesięcznik WUG, 4/2009, str. 3-13.
9. Materiały i wyniki badań konstruktorskich. Centrum EMAG, styczeń 2008

Recenzent: prof. zw. dr hab. inż. Wacław Trutwin

## References

1. *Bodziony J. et al.*, 1997: Analiza i ocena stanu zagrożenia wyrzutami metanu i skał oraz stosowanych metod profilaktyki w kopalniach Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A., IMG PAN Kraków, (not published).
2. *Firganek B., Rej A.*, 2002: Pomiar czasu odpowiedzi czujników metanu. WUG periodical No 11/2002.
3. *Jakubów A., Tor A., Tobiczak S.*, 2003: Wyrzut metanu i skał w drążonej lunecie rurowej do szybu II na poziomie 1000 m w KWK Pniówek – okoliczności, przyczyny i skutki. Materials of Underground Exploitation School, CPPGSMiE, PAN. Lectures, No 25, Kraków.
4. *Krzykawski D. et al.*, 2007: Zintegrowany czujnik wykrywania wyrzutu. Documentation of EMAG Centre, No 42 0255 7, Katowice, December 2007.
5. *Krzystanek Z., Bojko B.*, 2004: Próba oceny dynamicznych własności pelistorowego czujnika do ciągłego pomiaru stężenia metanu. Materials of the 3rd School of Mining Aerology, Zakopane, pp. 591-597.
6. *Tor A., Jakubów A.*, 2006: Wyrzuty metanu i skał w kopalniach Jastrzębskiej Spółki Węglowej S. A., Materials of the 4th School of Mining Aerology, pp. 159-175.
7. *Wasilewski S.*, 2005: Stany nieustalone parametrów powietrza wywołane katastrofami oraz zaburzeniami w sieci wentylacyjnej kopalni. Studies and monographs. EMAG Centre.
8. *Wasilewski S.*, 2009: Badania zmian ciśnienia barometrycznego w kopalniach głębinowych Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, WUG periodical, 4/2009, pp. 3-13.
9. Reports and construction research results. EMAG Centre, January 2008.

## ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ДАТЧИК ОБНАРУЖЕНИЯ ВЫБРОСА – МОДЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выбросы метана и скал, похоже как горные удары, принадлежат к самым большим опасностям в глубинных шахтах, и также трудно предвидимы. Внезапное появление явления выброса метана и скал, а также скала и масштаб опасностей после выброса требуют решений, благодаря которым возможно быстрое, а также однозначное обнаружение возникнувшей опасности, немедленное отключение электроэнергии и вывод работников из зоны возможной опасности. С этой целью предложено специальный вариант интегрированного датчика обнаружения выброса. В статье представлена основная информация о датчике, который снабжен в три измерительно-детектированные элемента: камеру непрерывного измерения метана, датчик давления и микрофон. Главной целью исследований модели датчика была оценка параметров, характеризующих динамические собственные измерения измерительной камеры датчика концентрации метана и других измерительных элементов датчика. Полученные результаты исследований подтвердили принятые решения.