

Modułowy system do pomiaru prędkości przepływu powietrza, temperatury, wilgotności i stężenia metanu*

JANUSZ KRUCZKOWSKI, PIOTR OSTROGÓRSKI

Instytut Mechaniki Górotworu PAN, ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków

Streszczenie

Przedstawiono wyniki projektu modułu pomiarowego dla systemu monitorowania wybranych parametrów fizykochemicznych rejonu ściany w kopalni węgla kamiennego. Opracowanie systemu monitorowania jest projektem prowadzonym w Instytucie Mechaniki Górotworu PAN w celu stworzenia innowacyjnego rozwiązania metrologicznego potrzebnego w prowadzonych badaniach naukowych związanych ze zjawiskami przepływowymi zachodzącymi w trakcie przewietrzania ściany. Wprowadzanie nowych technologii w procesie wydobywczym węgla kamiennego, polegających głównie na przyspieszeniu procesu urabiania wymaga zapewnienia bezpieczeństwa zarówno dla procesu technologicznego jak i dla załogi. Dotyczy to głównie zagrożeń gazodynamicznych i geomechanicznych. Jedynym sposobem, pozwalającym na podjęcie próby wysłania wczesnych komunikatów ostrzegających do załogi zakładu górniczego, jest system monitoringu i analizy parametrów przewidywanych zagrożeń, działający w czasie rzeczywistym. Aby wykluczyć ryzyko fałszywych ostrzeżeń należy przeprowadzić badania mające na celu poznanie korelacji między obserwowanymi parametrami w sytuacjach awaryjnych. Skonstruowany moduł pomiarowy, wykorzystujący najwyższej jakości sensory pomiarowe i technologie bezprzewodowej transmisji danych, ma w założeniu umożliwić takie badania i jednocześnie pozwolić w przyszłości na jego komercyjne zastosowanie w kopalnianych inteligentnych systemach wczesnego wykrywania i analizy zagrożeń.

Słowa kluczowe: wentylacja kopalń, monitoring rejonu ściany wydobywczej, pomiar prędkości powietrza, pomiar temperatury, pomiar wilgotności, pomiar stężenia metanu.

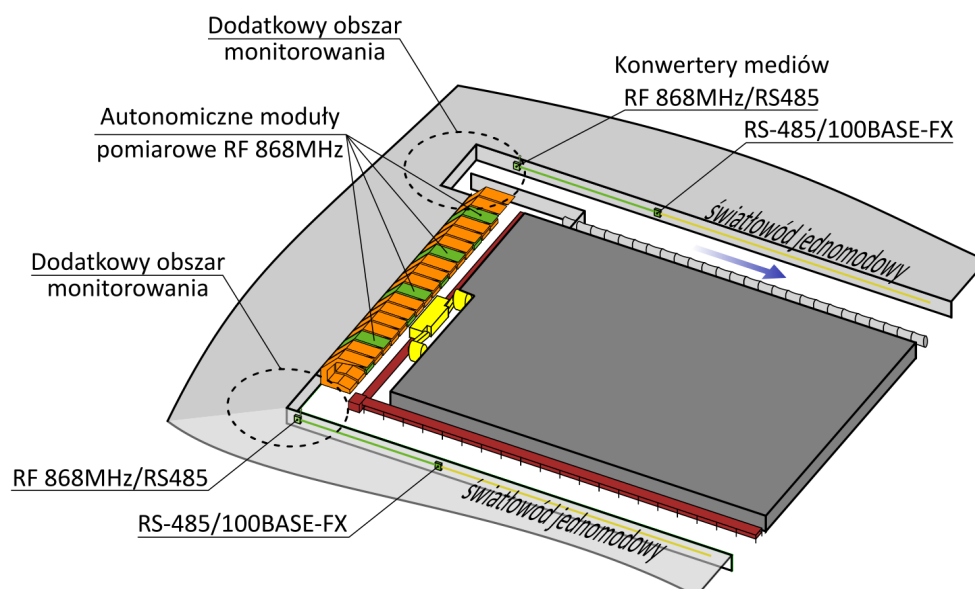
Wprowadzenie

W związku z koniecznością coraz bardziej efektywnego pozyskiwania węgla kamiennego, pojawia się szereg nowych wyzwań zarówno dla inżynierów jak i naukowców. W przypadku aerologii górniczej są to zagadnienia zapewnienia bezpiecznego przewietrzania eksploatowanych wyrobisk. W polskich kopalniach wzrost wydobywania osiągnięty jest m.in. przez zwiększanie prędkości urabiania ścian i automatyzację procesu wydobywania węgla. Wiąże się to z dwoma istotnymi zagrożeniami; geomechanicznym i gazodynamicznym. Znalazienie nowych sposobów bezpiecznego przewietrzania stanowi podstawę ograniczenia zjawisk groźnych dla bezpieczeństwa i spowodowanych zagrożeniem metanowym. Aby skutecznie przeciwdziałać zagrożeniu wynikającemu z obecności metanu w prądach powietrznych przewietrzających wyrobiska kopalni, niezbędne jest prowadzenie badań o charakterze naukowo-poznawczym. Do tego celu służą budowane od lat w IMG PAN urządzenia pomiarowe [2-4]. Zdobywana przy ich wykorzystaniu wiedza służy jednocześnie do ich udoskonalania lub projektowania nowych rozwiązań. Przez wiele lat naukowcy z IMG PAN wykorzystywali do prowadzonych badań opracowany w instytucie System Wielopunktowego Pomiaru Pola Prędkości (SWPPP). Był to pierwszy, stosowany w kopalniach polskich zaawansowany badawczy system pomiarowy strumienia objętości powietrza, wykorzystujący m.in. technologię bezprzewodowej transmisji danych. Jego możliwości początkowo ograniczały się do badań rozkładów pól prędkości. Z czasem dokonano rozbudowy o czujniki metanu i system uzyskał zdolność analizowania rozkładów pól

* Współautorem przedstawionego rozwiązania jest Tadeusz Bacia
Autor zamieszczonych fotografii: Janusz Kruczkowski

stężeń strumienia objętości metanu. Przy pomocy tego urządzenia wykonano szereg prac o charakterze naukowym, a także komercyjnym, uzyskując wiele nowych i interesujących wyników. Niedogodnością w stosowaniu systemu SWPPP jest konieczność rozmieszczania czujników na montowanej w przekroju wyrobiska kratownicy. Wyklucza to jego użycie do obserwacji długoterminowych, w warunkach ruchu maszyn lub załogi. Ograniczone są również możliwości wykonywania pomiarów wzdłuż wyrobiska korytarzowego, chociaż przeprowadzano pomiary przy użyciu dwóch kratownic z zamontowanymi czujnikami rozłożonych na przeciwnych końcach chodnika.

Aby rozwiązać ten problem, w IMG PAN podjęto prace nad całkowicie nowym systemem pomiarowym. W oparciu o wieloletnie doświadczenia z eksploatacji systemu SWPPP została opracowana koncepcja rozproszonego systemu pomiarów parametrów fizykochemicznych rejonu ściany (RSPPF) (Rys. 1) [1]. System jest dedykowany dla pomiarów w rejonach ścian, ale może być z powodzeniem wykorzystywany w dowolnym innym rejonie kopalni. Podstawowym elementem systemu jest autonomiczny moduł pomiarowy. Zespół dowolnie rozmieszczonych w kanale ściany modułów zbiera informacje o wybranych parametrach przepływu powietrza takich jak; prędkość, stężenie metanu, temperatura, wilgotność, ciśnienie bezwzględne. Komunikacja pomiędzy modułami odbywa się drogą radiową. Algorytm z którego korzystają nadajniki i odbiorniki radiowe umożliwia przekazywanie informacji w kierunku skrzyżowań z chodnikami przyścianowymi.



Rys. 1. Rozproszony system pomiarowy parametrów fizykochemicznych rejonu ściany wydobywczej

Moduł pomiarowy jest podstawowym, ale nie jedynym elementem systemu. Dodatkowo przewidziane są moduły umieszczone na skrzyżowaniach z chodnikami przyścianowymi, których zadaniem będzie konwersja standardu radiowego na przewodowy, początkowo w standardzie elektrycznym RS485, zamienianym następnie w innych modułach na standard światłowodowy 100BASE-FX. Innymi elementami systemu są mobilne urządzenia odczytowe, pozwalające na odczyt danych z modułów pomiarowych drogą radiową przez operatorów systemu znajdujących się w ich pobliżu. W tym celu przewiduje się wykorzystanie elementu odczytowego z innego systemu opracowanego w IMG PAN, a mianowicie miernika strumienia objętości metanu SOM 2303.

Autonomiczny moduł pomiarowy zaprojektowano z myślą o możliwości przyszłego wdrożenia komercyjnego w nowoczesnych inteligentnych sieciach teletransmisyjnych kopalń.

Konstrukcja modułu pomiarowego

Zewnętrzny wygląd modułu zaprezentowano na Fot. 1. Elementy modułu umieszczone są wewnątrz i na zewnątrz korpusu wykonanego ze wzmocnionego włókna szklanym poliestru duroplastycznego z dodatkiem grafitu, przeznaczonego do pracy w strefach zagrożonych wybuchem. Wewnątrz umieszczono układ elektroniczny wraz z akumulatorowym źródłem zasilania. Na dolnej ścianie obudowy rozmieszczone

są trzy czujniki pomiarowe. Widoczna jest głowica pomiarowa skrzydełkowego czujnika anemometrycznego. Po obu stronach anemometru umieszczono czujniki termohigrometru i stężenia metanu. Czujnik termohigrometru posiada budowę przeciwybuchową. Wewnątrz obudowy umieszczono czujnik ciśnienia bezwzględnego i trójosiowy czujnik akcelerometryczno-żyroskopowy. Na bocznych ścianach znajdują się gniazda złączy zasilania i sygnałów wejściowo/wyjściowych oraz sygnalizator optyczny LED. Na ścianie górnej obudowy zamocowana jest antena prętowa przeznaczona do transmisji radiowej pomiędzy modułami i do urządzeń odczytowych. Przy konstruowaniu urządzenia brano pod uwagę maksymalne ograniczenie jego wagi i wymiarów. Korpus urządzenia ma wymiary 75×110×57 mm. Masa nie przekracza 1 kg. Moduł będzie mocowany do stropnicy sekcji obudowy zmechanizowanej, obudów łukowych lub innych elementów wyposażenia wyrobisk przy pomocy uchwytów mechanicznych lub magnetycznych. Na zamieszczonych fotografiach widoczne są pręty uchwytów przeznaczone do zamontowania modułu np. do elementów sekcji obudowy zmechanizowanej.



Fot. 1. Autonomiczny moduł pomiarowy

Na Fot. 2 pokazano wygląd urządzenia od strony obu dodatkowych czujników zewnętrznych. Wzajemne położenie czujników nie pozostaje bez znaczenia. Widoczny jest brak symetrii dla warunków przepływowych przez czujnik anemometryczny. Jednak umieszczenie czujnika termohigrometru w strudze przepływającego przez anemometr skrzydełkowego powietrza nie wpłynie na dokładność pomiaru prędkości, a wyłącznie na proces kalibracji czujnika skrzydełkowego. Dla pracy dwukierunkowej z wysoką dokładnością wymagana będzie kalibracja zależna od kierunku napływu powietrza. Kierunek napływu musi być również zdefiniowany w postaci graficznej na obudowie modułu.

Urządzenie łączy w sobie cechy urządzenia do pomiaru warunków klimatycznych oraz metanomierza. Pozwala to na minimalizację liczby urządzeń zabudowanych w przodku, jak również poszerza zdolność kontroli zagrożenia metanowego eksploatowanych ścian.

Jednocześnie liczba przewodów prowadzonych do ścian nie ulega zwiększeniu, gdyż każde z urządzeń może łączyć się bezprzewodowo z urządzeniem tego samego typu i przesyłać dane pomiarowe przez urządzenie pośredniczące do koncentratora, a następnie siecią światłowodową na powierzchnię do centrali metanometrycznej.



Strona termohigrometru



Strona czujnika metanu

Fot. 2. Autonomiczny moduł pomiarowy. Usytuowanie czujników zewnętrznych

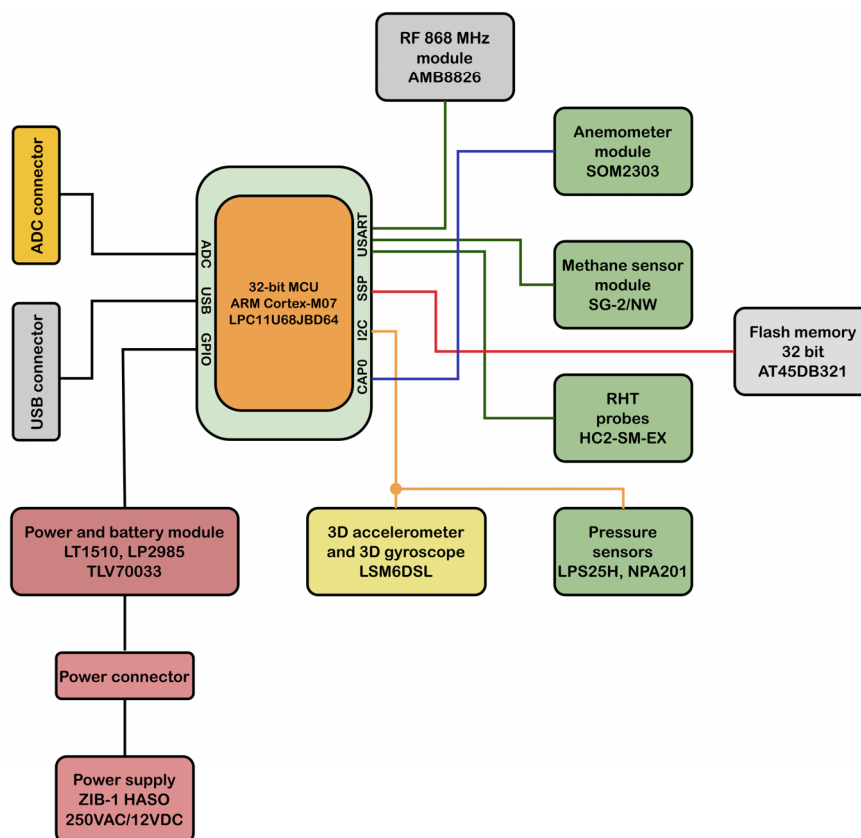
Struktura układu elektronicznego

Moduł pomiarowy jest jednym z elementów systemu do obserwacji zjawisk przepływowych w wyrobiskach kopalni. Pełni funkcję nie tylko zbierania i konfekcjonowania danych pomiarowych, ale jest jednocześnie jednym z węzłów rozproszonej bezprzewodowej sieci transmisji danych. Można zatem wyróżnić jego dwa podstawowe zadania. Pierwsze, to zbieranie i gromadzenie danych, bez ich szczegółowej analizy. Następne, to realizacja algorytmów węzła sieci typu Flooding Mesh [1]. Drugie z zadań pozwala na przekazywanie danych do skrzyżowań ściany z chodnikami przyścianowymi, gdzie znajdują się pozostałe elementy systemu odpowiedzialne za dalszy przekaz, aż do połączenia z siecią teletransmisyjną kopalni. Moduł pomiarowy jest więc jednocześnie regeneratorem sygnału radiowego (repeater).

Autonomiczny moduł pomiarowy wykorzystuje czujniki wybranych parametrów fizycznych i chemicznych atmosfery kopalnianej. Dane pomiarowe z czujników przekazywane są drogą radiową do kolejnych modułów pomiarowych rozmieszczonych wzdłuż ściany, aż do jej wylotu. Jednocześnie są gromadzone w pamięci urządzenia, na wypadek utraty wysłanych drogą radiową. Struktura układu elektronicznego modułu jest pokazana na Rys. 2.

Na schemacie blokowym przedstawiono elementy składowe układu elektronicznego. Głównym elementem jest procesor (32 bit MCU) sterujący wszystkimi funkcjami modułu. Zastosowano układ LPC11U68JBD48E firmy NXP [5] będący 32 bitową jednostką z rdzeniem ARM® Cortex™ M0+, zawierającą 256 kB pamięci FLASH, 4 kB EEPROM i 36 kB SRAM. Procesor kontroluje prace pozostałych układów, w tym układ AMB882 odpowiadający za realizację transmisji bezprzewodowej pomiędzy elementami systemu, a także na transmisję zgromadzonych danych pomiarowych do mobilnych urządzeń odczytowych. Obsługuje czujniki prędkości (Anemometer), stężenia metanu (Methane sensor), wilgotności i temperatury (RHT), ciśnienia barometrycznego (Pressure sensor) oraz czujnik akcelerometryczno-żyroskopowy (3D accelerometer and gyroscope). Dane pomiarowe gromadzone są w pamięci zewnętrznej (Flash memory). Układem powiązany jest układ zasilająco-akumulatorowy (Power and battery module). Połączenia zewnętrzne modułu tworzą złącza przetwornika analogowo-cyfrowego (ADC connector), portu transmisji przewodowej USB i zasilania zewnętrznego (Power connector). Do ostatniego z wymienionych złączy może być dołączony dowolny zasilacz iskrobezpieczny, spełniający określone przez parametry elektryczne modułu wymogi np. typu ZIB-1 produkcji firmy HASO. Oprogramowanie procesora modułu pozwala na jego wykorzystanie jako autonomicznej stacji pomiarowej, co znacznie rozszerza możliwości stosowania.

Moduł pomiarowy posiada możliwość konwersji sygnałów analogowych. Udostępnione są trzy kanały 12 bitowego przetwornika A/D procesora LPC11U68JBD48E. Daje to możliwość podłączenia np.



Rys. 2. Schemat blokowy układu elektronicznego modułu pomiarowego

trójwłóknowej sondy termooanemometrycznej opracowanej w IMG PAN. Przewiduje się, że moduły będą zasilane również z sieci napięcia zmiennego dostępnego z instalacji elektrycznej ściany. Wykorzystane mogą być dostępne zasilacze przemysłowe posiadające wymaganą przepisami kategorię iskrobezpieczeństwa np. zasilacz firmy HASO typu ZIB-1 [9]. W momencie wyłączenia napięcia na ścianie, ich funkcję przejmie źródło zasilające wbudowane do modułu pomiarowego. Źródła wewnętrzne zapewnią pracę minimum 20 h dla czujnika metanu, i minimum 96 h dla pozostałych czujników. Układ elektroniczny i mechaniczny modułu pomiarowego spełnia wymagania dyrektywy europejskiej 2014/34/EU dla urządzeń i systemów przeznaczonych do pracy w środowiskach zagrożonych wybuchami gazów.

Dodatkowe moduły systemu

Ze względu na konieczność jak najlepszego rozpoznania rozkładów stężeń metanu opracowano dodatkowy moduł mierzący tylko ten parametr (Fot. 3). Podstawowym założeniem konstrukcyjnym było maksymalne zmniejszenie jego rozmiarów w celu uzyskania jak największej swobody w wyborze locali-



Fot. 3. Moduł pomiarowy stężenia metanu lub tlenku węgla

zacji urządzenia. Zastosowano taki sam korpus jak w module głównym o wymiarach 75×110×57 mm. Na ścianie bocznej zamontowano czujnik metanu, złącze zasilania i sygnałów wejściowo/wyjściowych oraz sygnalizator optyczny LED

Podobnie jak moduł główny, urządzenie może być zasilane z zasilacza zewnętrznego lub korzystać z wbudowanego akumulatora. Przewiduje się, że moduł czujnika metanu będzie najczęściej umieszczany w niewielkiej odległości od modułu głównego i dlatego nie będzie potrzeby stosowania anteny zewnętrznej. W przeciwnym razie antena będzie montowana. Zamiast czujnika metanu można stosować wymiennie czujnik tlenku węgla co znacznie podnosi funkcjonalność i uniwersalność modułu.

Na Fot. 4 pokazano wersję modułu który można zastosować w obiektach budowlanych lub przemysłowych w strefach niezagrożonych wybuchami gazów i pyłów. Skutkuje to zmniejszeniem kosztu modułu przy zachowaniu jego funkcjonalności.



Fot. 4. Moduł pomiarowy w wersji przeznaczony dla przemysłu powierzchniowego i obiektów budowlanych

Charakterystyka zastosowanych czujników pomiarowych

Ponieważ moduł ma służyć do pozyskiwania danych w celach prowadzenia badań naukowych użyte czujniki musi charakteryzować wysoka jakość metrologiczna. Poniżej podano podstawowe dane metrologiczne i nazwy producentów.

Parametry metrologiczne anemometru:

Zakres pomiarowy prędkości przepływu:	$\pm (0,16 \div 15,0 \text{ m/s})$
Błąd pomiaru prędkości przepływu:	$\pm (0,5\% \text{ rdg}^* + 0,02 \text{ m/s})$
Rozdzielczość pomiaru prędkości:	0,01 m/s
Typ czujnika:	skrzydełkowy
Producent:	IMG PAN

Parametry metrologiczne metanomierza:

Zakres pomiarowy stężenia metanu:	$0 \div 100\% \text{ V/V}^{**}$
Podzakresy pomiaru stężenia metanu:	$0 \div 100\% \text{ DGW}^{***}; 5 \div 100\% \text{ V/V}^{**}$
Błąd pomiaru stężeń metanu:	0,1% dla zakresu $0 \div 2\% \text{ V/V}^{**}$
	5% wskazań dla zakresu $2 \div 5\% \text{ V/V}^{**}$
	3% dla zakresu $5 \div 60\% \text{ V/V}^{**}$
	5% wskazań dla zakresu $60 \div 100\% \text{ V/V}^{**}$

Typ czujnika niskich stężeń:	katalityczny
Typ czujnika wysokich stężeń:	konduktometryczny
Czas odpowiedzi T_{90} :	<3 s
Rozdzielczość pomiaru:	0,1% dla zakresu 0 ÷ 100% V/V**
Producent:	SENSOR GAZ [9]

* rdg – wartość odczytywana (reading)

** V/V – procentowe stężenie objętościowe (volume/volume)

*** DGW – dolna granica wybuchowości (Lower Explosive Limit, LEL)

Parametry metrologiczne termohigrometru:

Zakres pomiarowy temperatury:	-40 ÷ 85°C
Zakres pomiarowy wilgotności względnej:	0 ÷ 100%
Błąd pomiaru:	± 0,1 K/± 0,8% rh
Typ czujnika temperatury:	Pt100 klasa A
Typ czujnika wilgotności:	Hygromer IN-1
Producent:	ROTRONIC Measurement Solutions [6]

Parametry metrologiczne barometru:

Zakres pomiarowy ciśnienia:	260 ÷ 1260 hPa (absolutne)
Rozdzielczość pomiaru:	1 Pa
Błąd pomiaru (względny):	0,1 hPa (880÷1100 hPa, T = 25°C)
Typ czujnika:	MEMS
Producent:	STMicroelectronics [7]

Parametry metrologiczne akcelerometru i żyroskopu 3D:

Zakres pomiarowy przyspieszenia:	±2/±4/±8/±16 g FS
Zakres pomiarowy kąta:	±125/±245/±500/±1000/±2000 dps FS
Czułość dla przyspieszenia liniowego:	0,061/0,122/0,244/0,488 mg/LSB
Czułość dla prędkości kątowej:	4,375/8,75/17,50/35/70 mdps/LSB
Typ czujnika:	MEMS
Producent:	STMicroelectronics [7]

Podsumowanie

Uniwersalny moduł pomiarowy i dodatkowy moduł pomiaru stężeń metanu lub tlenku węgla, stwarzają możliwość zrealizowania dotychczas nieosiągalnych w aerologii górniczej eksperymentów badawczych. Również, przewidywane wykorzystanie ich do celów komercyjnych wprowadzi nową jakość w stosowaniu nowoczesnych rozwiązań dla systemów telemetrii kopalnianej. Swoboda rozmieszczania w wyrobisku modułów pomiarowych, mierzących jednocześnie w różnych miejscach kilka wielkości fizykochemicznych, których wartość w krótkim czasie może być dostarczona na powierzchnię, umożliwia projektowanie złożonych obserwacji stanów dynamicznych atmosfery kopalnianej. Istotną cechą systemu jest jego niewielka inwazyjność, co pozwala na stosowanie w warunkach ruchomych. Ze względu na rozmiary i masę własną, ułatwiony jest również transport. Układ elektroniczny pozwala na dołączenie innych czujników, w tym CO, CO₂ i termooanemometrycznych. Ostatnie z wymienionych czujników można stosować jednak wyłącznie do prowadzenia naukowych eksperymentów badawczych.

Pomimo wymienionych zalet nowego urządzenia, należy wciąż mieć na uwadze wady transmisji radiowej ujawniające się w szczególnych warunkach propagacji fal radiowych z jakimi mamy do czynienia w wyrobiskach górniczych. Dążenie do wprowadzania różnorodnych systemów korzystających z transmisji radiowej powinno być poddawane szczegółowej analizie. Owszem, jest to duży postęp technologiczny, ale pod warunkiem zapewnienia bardzo wysokiego stopnia niezawodności działania we wszystkich możliwych do przewidzenia sytuacjach, w tym w stanach katastroficznych. Urządzenia powinny spełniać wymagania poziomu nienaruszalności bezpieczeństwa SIL (*Safety Integrity Level*). Jest to obecnie trudne do zrealizowania. Nagromadzenie dużej liczby emitorów elektromagnetycznych będzie prowadzić do wzajemnych interakcji. Trudno też jednoznacznie powiedzieć, czy możemy pomijać zjawiska związane z emisją elektromagnetyczną

wynikająca z ruchów górotworu. Nie wiemy również, jak w warunkach wyrobisk górniczych, szczególnie ścianowych sprawdzi się idea funkcjonowania sieci transmisyjnych typu Flooding Mesh. Ochronę przed całkowitą utratą danych pomiarowych w przypadku prezentowanego modułu pełnią więc wewnętrzne pamięci typu flash.

W module pomiarowym zastosowano czujniki wykonane w technologii MEMS. Pozwoliło to na istotne oszczędności energetyczne. Niestety nadal nierozwiązany jest problem czujnika metanu. O ile są dostępne energooszczędne czujniki, to są nimi czujniki typu IR (absorbencja promienia CH_4 w paśmie podczerwieni), które charakteryzuje bardzo duża, jak na stawiane modułowi pomiarowemu wymagania, stała czasowa. Trudne do zastąpienia są więc wciąż czujniki pelistorowe. Kosztem ich użycia jest duże zapotrzebowanie na moc, co ogranicza czas działania modułu.

Oprócz podniesienia bezpieczeństwa pracy załogi w warunkach zagrożeń metanowo pożarowych dodatkowymi korzyściami dla zakładów górniczych są automatyczna kontrola czasu pracy załogi poprzez lepszą kontrolę zagrożenia klimatycznego, czy zmniejszenie czasu potrzebnego na przebudowę czujników (brak konieczności przebudowy sieci telemetrycznej). Wymienione elementy jednoznacznie wskazują na czynnik ekonomiczny wprowadzenia modułowych systemów wieloczujnikowych do kopalń.

Praca została wykonana w ramach prac statutowych IMG PAN 2019.

Literatura

- [1] Kruczkowski J., Ostrogórski P., 2018: *Koncepcja rozproszonego systemu pomiarowego parametrów fizykochemicznych rejonu ściany w oparciu o analizę metod pomiarowych parametrów atmosfery kopalni węgla kamiennego*. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, Tom 20, nr 3, wrzesień 2018.
- [2] Kruczkowski J., Ostrogórski P., 2018: *New method for ventilation methane content monitoring*. Proceedings of the 11th International Mine Ventilation Congress, Xi'an, China.
- [3] Kruczkowski J., 2013: *Wyznaczanie metanowości wentylacyjnej przy wykorzystaniu nowej techniki pomiarowej*. Górnictwo i Geologia. Tom 8, zeszyt 4. Politechnika Śląska. Gliwice.
- [4] Dziurzyński W., Kruczkowski J., 2011: *Variability of the volumetric air flow rate in a mine fan channel for various damper positions*. Archives of Mining Sciences, Vol. 56, No 4.
- [5] www.nxp.com
- [6] www.rottronic.com
- [7] www.st.com
- [8] www.haso.pl
- [9] www.sensorgaz.com.pl

Modular measurement system airflow velocity, temperature, humidity and methane concentration

Abstract

The article presents result of measuring module project for measurement system of physicochemical parameters in coal mine's longwall. The project is developing in Strata Mechanics Institute of Polish Academy of Knowledge. Objective is to create innovative measurement system for carrying investigations connected with air flow phenomena which appear in longwall. System consists of independent modules equipped with methane sensor, vane anemometric sensor, temperature and humidity sensor. Also is possible to extend module features by extra sensors like carbon monoxide and dioxide sensors. Module can work as node in wireless mesh network and is able to transmit data to telemetric concentrator located at surface.

Keywords: mine's aerology, longwall monitoring, air velocity measurement, temperature measurement, humidity, methane concentration