

Koncepcja rozproszonego systemu pomiarowego parametrów fizykochemicznych rejonu ściany w oparciu o analizę metod pomiarowych parametrów atmosfery kopalni węgla kamiennego

JANUSZ KRUCZKOWSKI, PIOTR OSTROGÓRSKI

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

Streszczenie

W artykule omówiono metody pomiaru prędkości przepływu powietrza, ciśnienia i stężeń metanu w rejonie ściany podczas pracy kompleksu wydobywczego. Ograniczono się do wybranych mierników stacjonarnych. Przedstawiono czujniki wielkości fizykochemicznych powietrza oraz sposoby przekazywania danych pomiarowych. Zaproponowano nowe rozwiązanie stacjonarnego systemu metrologicznego parametrów fizykochemicznych powietrza dla rejonu ściany.

Słowa kluczowe: wentylacja kopalń, monitoring, sieć pomiarowa, rozproszone systemy pomiarowe

Wprowadzenie

Rejon ściany, jest obszarem zakładu górniczego w którym poziom zagrożenia bezpieczeństwa załogi jest szczególnie wysoki. Powodem jest szereg czynników z których najważniejsze to, niesprzyjające warunkom środowiskowe, nieprzewidywalne zachowanie naruszonego górotworu, nagromadzenie dużej liczby urządzeń elektromechanicznych i – w przypadku kopalń metanowych – możliwość powstania atmosfery wybuchowej. Rozpoznane zagrożenia monitoruje się przy pomocy różnego typu czujników, stosując procedury będące wynikiem wieloletnich doświadczeń i obserwacji. Pomimo tego dochodzi do katastrof, które ze względu na liczbę pracowników znajdujących się w ścianie lub w chodnikach przyległych, skutkują wypadkami zbiorowymi i wieloma ofiarami śmiertelnymi.

W ostatnim okresie obserwuje się gwałtowny rozwój systemów monitorujących, zbudowanych z wielu czujników, mierzących różne parametry obserwowanej przestrzeni lub obiektu. Przykładem są dwa najbardziej obecnie rozpowszechnione systemy; System Zarządzania Budynkiem (Building Management System (BMS)) i Internet Rzeczy (Internet of Things (IoT)). Cechą wspólną tych systemów jest wymiana informacji pomiędzy czujnikami w celu stworzenia tzw. inteligentnych przestrzeni. Systemy te tworzą struktury wymiany informacji w postaci sieci różniących się np. hierarchicznością lub sposobem wyboru dróg przepływu informacji. Na potrzeby przepływu informacji pomiędzy elementami sieci i jej analizowania, projektuje się algorytmy zawierające elementy sztucznej inteligencji. Pozwala to na samodzielne podejmowanie decyzji przez system, samokontrolę, a także uruchamianie mechanizmów samonaprawy. Ze względu na możliwość dowolnego – wynikającego tylko ze zdefiniowanych potrzeb – rozmieszczania w przestrzeni czujników, systemy te określane są mianem *rozproszonych systemów pomiarowych*. Przestrzenna struktura systemu powoduje konieczność zastosowania lepszego sposobu przesyłania danych pomiędzy czujnikami, niż przewodowy. Dlatego, w odróżnieniu od wczesnych systemów rozproszonych, wykorzystujących np. zaprojektowaną przez firmę Bosch magistralę przewodową CAN stosuje się obecnie magistrale bezprzewodowe. Są to najczęściej rozwiązania radiowe pracujące w pasmach 868 MHz, 900 MHz i 2,4 GHz.

Nowoczesne technologie górnicze z pewnością będą wykorzystywać podobne rozwiązania. Obecnie stosowane systemy mają już kilkudziesięcioletnią historię i można zauważyć próby podejmowane przez producentów wprowadzenia nowych rozwiązań wzorowanych na stosowanych w innych dziedzinach przemysłu [4,13].

Artykuł obejmuje zagadnienia związane z wykorzystaniem czujników stacjonarnych odpowiadających za monitorowanie stanu fizykochemicznego atmosfery w rejonie ściany. Ogranicza się do czujników prędkości przepływu, ciśnienia i stężenia metanu. Taki wybór wynika z ewentualnego zaprojektowania w przyszłości zautomatyzowanego systemu kompleksu wydobywczego ściany korzystającego z danych pozyskiwanych z rozproszonej sieci czujników. Prace takie zostały zainicjowane w Instytucie Mechaniki Górniczej PAN. Warunki przewietrzania w rejonie ściany mają niewątpliwie wpływ na optymalne pod względem bezpieczeństwa i kosztów wydobywania, sterowanie kompleksem ścianowym. Z tego powodu należy dążyć do wyeliminowania w procesie technologicznym, jakim jest urabianie ściany, słabych ogniw, między innymi człowieka. Obecnie w warunkach zagrożenia metanowego oprócz czujników wyłączających rejestrujących stężenia metanu, istotną rolę w podejmowaniu decyzji odgrywają tzw. „pomiarowcy” [5]. Są to pracownicy, którzy zgodnie z instrukcjami kierownika ruchu, dyspozytora metanometrii, głównego inżyniera wentylacji, wykonują dodatkowe pomiary. Trudno więc zadbać, aby pełna informacja metrologiczna dotarła w tym samym czasie do centrum decyzyjnego, jakim jest dyspozytornia metanometrii kopalnianej. Możliwość taką, w bardzo dużym stopniu daje zastosowanie rozproszonej sieci pomiarowej działającej w czasie rzeczywistym.

Problemy metrologii parametrów niezbędnych do prowadzenia ściany próbują rozwiązać firmy komercyjne, przedstawiając nowe, niekiedy innowacyjne koncepcje. Jedną z nich jest Instytut Technik Innowacyjnych EMAG proponujący rozbudowany system monitorowania i prognozowania zagrożeń którego trzonem jest Zintegrowany Iskrobezpieczny System Telekomunikacyjny (ZIST) [7].

Mierniki metanu

Pośród metanomierzy wykorzystywanych do pomiarów w ścianie, należy wyszczególnić stacjonarne metanomierze włączone do systemu gazometrii kopalnianej oraz metanomierze kombajnowe. Służą one do monitoringu stężenia metanu w wyznaczonych miejscach rejonu ściany. Miejsca te są określone przepisami [6]. Bardziej szczegółowe dane dotyczące sposobu zabudowy przyrządów są zapisane w Kartach zabudowy. Metanomierze stacjonarne mają ustalone progi ostrzegawcze i alarmowe, uaktywniane przekroczeniem zdefiniowanej wartości stężenia. Urządzenia wyposażono w elementy rozłączające, pozwalające na wyłączenie spod napięcia określonego przepisami obszaru i wybranych urządzeń. Wyłączane są przede wszystkim urządzenia eksploatacyjne oraz ich osprzęt. Urządzenia zapewniające właściwą wentylację jak np. wentylator lutniowy – nie są rozłączane. Zakres wyłączania napięcia jest ujęty w projekcie ściany wydobywczej.

Metanomierze można podzielić przede wszystkim ze względu na rodzaj wykorzystywanego czujnika metanu. Dostępne są metanomierze wykorzystujące czujnik pellistorowy i czujnik infradrowy (IR).

Stosowane są dwa rodzaje pellistorów. Pellistory katalityczne wykorzystują zasadę spalania katalitycznego metanu. Różnica temperatur elementu aktywnego, na którym metan spala się, i elementu kompensacyjnego, powodują nierównowagę mostka Wheatstone'a i powstanie sygnału pomiarowego. Pellistory katalityczne stosuje się do pomiaru niskich stężeń metanu, najczęściej w zakresie 0 do 5% V/V. Pellistory konduktometryczne wykorzystują różnicę w przewodnictwie cieplnym gazu mierzonego oraz wzorcowego, zamkniętego w szczelnej obudowie, również powodującą powstanie napięcia nierównowagi mostka Wheatstone'a. Pellistory konduktometryczne wykorzystywane są do pomiarów wysokich stężeń metanu w zakresie 0 do 100% V/V.

Czujniki infradrowe IR wykorzystują światło podczerwone do detekcji stężenia metanu. Metan posiada dwa prążki absorpcji w paśmie podczerwonym co powoduje, że pochłanianie promieniowania podczerwonego. Zjawisko to jest wykorzystywane na różne sposoby w budowie czujników metanu. Konstrukcje tych czujników są ciągle doskonalone.

Metanomierze stacjonarne mogą pracować impulsowo lub w sposób ciągły. Oznacza to, że w przypadku pracy impulsowej urządzenie zostaje załączone tylko na żądanie wykonania pomiaru, po czym przechodzi w stan czuwania. W przypadku pracy ciągłej czujnik jest zasilany bez przerwy i zapisuje pomiary do swojej pamięci. Gdy zostanie odpytany podaje ostatni, aktualny wynik. Czasy odpowiedzi t_{90} metanomierzy z czujnikami pellistorowymi wynoszą ok. 5 s, natomiast z czujnikami infradrowymi czasy są znacznie dłuższe

i wahają się od 25 do 45 sekund w zależności od typu obudowy i zastosowanych filtrów (jednak np. firma MIPEX Technology podaje dane dla t_{90} w zakresie od 10 do 30 s.). Dla przeciętnego użytkownika weryfikacja tych danych jest praktycznie nieosiągalna. Zaletą czujników IR jest odporność na związki zatruwające i inhibitory, które dla czujników pellistorowych stanowią zagrożenie. Wszystkie czujniki gazów są podatne na zanieczyszczenia i kondensację pary wodnej, co w środowisku górniczym jest częstym zjawiskiem.

Obecne przepisy nie wymuszają wyboru określonego typu czujnika, stawiają jednak wymagania w zakresie czasu odpowiedzi:

„(...) W wyrobiskach w polach metanowych zaliczonych do II-IV kategorii zagrożenia metanowego – stosuje się zabezpieczenia metanometryczne z metanomierzami o działaniu ciągłym, których wyniki pomiarów rejestruje się w centrali systemu gazometrycznego, wyłączające automatycznie zabezpieczane urządzenia elektryczne w czasie nie dłuższym niż 15 s, liczonym od momentu pojawienia się w komorze pomiarowej dowolnego zastosowanego metanomierza mieszanki metanowo-powietrznej o stężeniu 0,2% wyższym od ustalonego progu zadziałania danego metanomierza” [6].

Metanomierze kombajnowe to osobna grupa urządzeń pomiarowych, instalowanych wyłącznie na kombajnach, zarówno chodnikowych jak i ścianowych. W skład urządzenia wchodzi miernik metanu umieszczany zwykle blisko organu urabiającego oraz konsoli. Czujnik znajduje się wewnątrz osłony chroniącej go od wibracji i uderów mechanicznych. Urządzenie zasilane jest poprzez zasilacz iskrobezpieczny. Czujnik miernika metanu może być zdublowany, np. pellistorowy i IR umieszczone są w jednej osłonie. Wynika to z braku odporności na trudne warunki środowiskowe w jakich muszą pracować. Należy zaznaczyć, że taki zabieg, chociaż intuicyjnie poprawny, nie daje pewności uzyskania poprawnych pomiarów.

Metanomierze stacjonarne w zależności od typu i producenta mogą zapewniać następujące standardy transmisji:

- analogowy częstotliwościowy 8-12 kHz (lub 5-15 kHz),
- cyfrowy z modulacją częstotliwościową FSK (Frequency Shift Keying),
- napięciowy 0,4-2,0 V,
- prądowy 4-20 mA.

Na rynku dostępne są metanomierze kombajnowe MK-4a i MK5 firmy Elgór+Hansen oraz MKO-1x firmy HASO s.c. Dwie wersje produktu HASO, MKO-11 i MKO12, różnią się napięciem zasilania.

Mierniki ciśnienia barometrycznego

Do telemetrycznych systemów pomiarowych mierniki ciśnienia barometrycznego wprowadzono stosunkowo niedawno. Nastąpiło to po katastrofach na kopalniach Halemba (2006) i Wesoła (2008). W założeniu, zadaniem mierników ciśnienia jest między innymi monitorowanie potencjałów aerodynamicznych. Mierniki te są zwykle urządzeniami wieloczujnikowymi. Poza czujnikiem ciśnienia mają wbudowane czujnik temperatury i wilgotności względnej. Wśród tych urządzeń należy wymienić najczęściej występujący w polskich kopalniach miernik CSPA-2 produkcji firmy HASO s.c. Miernik ten posiada możliwość dodatkowego pomiaru temperatury i wilgotności. Błąd pomiaru ciśnienia wynosi $\pm 0,5$ hPa w zakresie temperatury 5-40 st. C.

Producentem mierników ciśnienia barometrycznego typu THP-1 i THP-2 była firma EMAG. Firma SEVITEL produkuje miernik typu DHT wyposażony w czujnik ciśnienia atmosferycznego, temperatury i wilgotności. Czujnik ciśnienia, temperatury i wilgotności typu SC-PS produkuje obecnie firma CARBO-AUTOMATYKA S.A., która jest również producentem miernika ciśnienia bezwzględnego typu CPCB. Czujnik ciśnienia, temperatury i wilgotności typu DPT i DHT jest produkcji firmy EMAG-SERWIS.

Mierniki anemometryczne

Stosowane w rejonie ściany anemometry stacjonarne wykorzystują różne zasady pomiaru. Pomiar prędkości powietrza realizowany jest poprzez czujniki skrzydełkowe, ultradźwiękowe, termiczne, lub obecnie bardzo rzadko wirowe.

Anemometry skrzydełkowe posiadają mechaniczny czujnik w postaci wirującego wielołopatkowego elementu nazywanego skrzydełkiem. Zasada działania wykorzystuje zjawisko wymiany pędu pomiędzy

strumieniem powietrza, a łopatkami skrzydełka, dążąc do równowagi, w której, w idealnym przypadku, ani skrzydełko nie przekazuje pędu powietrzu, ani powietrze skrzydełku. Prędkość obrotowa, proporcjonalna do prędkości przepływu, jest mierzona z wykorzystaniem czujnika detekcji ruchu łopatki.

Anemometry ultradźwiękowe działają w oparciu o efekt Dopplera. Pomiar prędkości przepływu powietrza polega na mierzeniu czasu przelotu fali ultradźwiękowej pomiędzy dwoma punktami. Czas przemieszczania zależy od prędkości powietrza. Fala jest wysyłana naprzemiennie w stosunku do kierunku przepływu. Zmierzona różnica czasu przelotu jest proporcjonalna do prędkości przepływu.

Anemometry termiczne (termoanemometry) wykorzystują zjawisko wymiany ciepła pomiędzy elementem rezystancyjnym, a powietrzem. Przez element rezystancyjny (termistor, drut oporowy) przepływa prąd elektryczny powodując jego nagrzewanie. Chłodzenie elementu opływającym go powietrzem powoduje zachwianie równowagi mostka elektrycznego (np. Wheatstone'a), w gałęzi którego taki element jest najczęściej umieszczony. Wielkość napięcia niezrównoważenia jest zależna od prędkości przepływu.

Anemometry wirowe korzystają ze zjawiska powstawania ścieżki wirów Karmana za opływającą przez strugę powietrza przeszkodą. Częstotliwość tych wirów mierzona np. przez czujnik ciśnienia jest proporcjonalna do prędkości przepływu.

Skutkiem różnic w budowie przyrządów mogą być różne wskazania prędkości, pomimo wykonywania pomiaru w tym samym miejscu, w ustalonych warunkach przepływowych [12]. Istotny jest tutaj wpływ intensywności turbulencji przepływu, różnie oddziałujący na każdy rodzaj anemometru. Droga do rozwiązania tego istotnego problemu byłoby kompleksowe przeprowadzenie badań właściwości dynamicznych poszczególnych czujników.

Wśród anemometrów stosowanych w rejonach ściany wydobywczej należy wymienić: anemometry skrzydełkowe typu MPP produkcji Instytutu Mechanik Górotworu PAN, anemometry skrzydełkowe typu SAT, których producentem jest firma Zakład Montażu Urządzeń Elektronicznych w Tychach i anemometry termiczne CSV-5 produkowane przez HASO s.c. Producentem rodziny stacjonarnych anemometrów ultradźwiękowych typu AS-3ES, AS-4ES, DAV jest firma EMAG-SERWIS.

Centrale telemetryczne

Według ostatnich wiarygodnych danych pochodzących z 2012 roku w polskich kopalniach zainstalowano centrale telemetryczne (metanometryczne) głównie trzech firm [10]. Najwięcej dostarczyła firma SEVITEL wchodząca w skład grupy CNP EMAG. Są to centrale CMC-3MS, CMC-4, CMC-5, pracujące obecnie w *Systemie monitorowania parametrów atmosfery w przestrzeniach zagrożonych wybuchem typu SMP-NT/S*. Następna w kolejności, firma HASO s.c. jest producentem centrali metanometrycznych typu CST-40, CST-40A, CST-40 C dla których systemem nadrzędnym jest *System Wspomagania Dyspozytora Metanometrii SWmP-3* przeznaczony do rejestracji i konwersji danych z czujników. Firma Carboautomatyka S.A. oferuje System bezpieczeństwa KSP-bis zbudowany w oparciu o centrale telemetryczne KSP-3. Centrale te mogą współpracować z systemami nadrzędnymi Zefir, SWmP, SD2000, SOLARIS. W centrali zastosowano m.in. redundantną magistralę wewnętrzną. Wcześniejsze centrale tego producenta oznaczone są symbolami KSP-1 i KSP-2.

Czwartą firmą, której centrale są stosowane jest firma Elgór+Hansen, która po przejęciu dawnego producenta, firmy ZEG Tychy, zajmuje się serwisem jego centrali typu CST-40 i CST-60.

W centralach telemetrycznych stosuje się dwa rodzaje transmisji przewodowej, częstotliwościową analogową i cyfrową w standardzie V23 lub zbliżonym, z modulacją FSK. Transmisja częstotliwościowa polega na generowaniu sygnału częstotliwościowego w zakresie od 8 do 12 kHz w taki sposób, że różnym wartościom mierzonej wielkości odpowiadają różne częstotliwości.

Modulacja FSK jest w zasadzie kluczowaniem częstotliwości gdzie sygnałem modulującym jest sygnał cyfrowy. Każdemu ze stanów tego sygnału przypisuje się inną częstotliwość. Zaletą jest stałość amplitudy chwilowej i dobra odporność na zakłócenia impulsowe. Pomimo małej prędkości transmisji danych modulacja FSK zapewnia efektywny i niedrogi sposób przesyłu danych. Niestety te zalety ulegają zdecydowanemu pogorszeniu w przypadku transmisji szeregowej z dużej liczby czujników.

Minimalny czas jednego cyklu pomiarowego w omawianych centralach waha się w granicach od 1 do 8 sekund w zależności od typu czujnika. Centrale obsługują na ogół do 80 iskrobezpiecznych linii telemetrycznych w konfiguracji gwiazdowej. Każda linia pozwala na obsługę od jednego do czterech czujników w zależności od typu. Zasięg linii telemetrycznych wynosi od 10 do 12 km.

Koncepcja rozproszonego systemu pomiarowego parametrów fizykochemicznych rejonu ściany

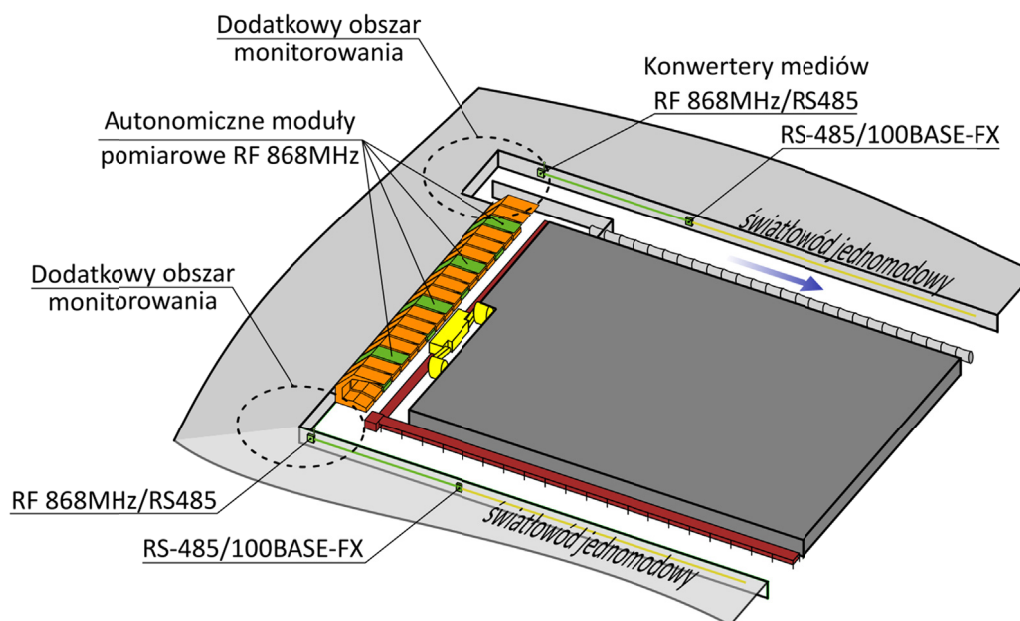
Obecna metodologia pomiarów parametrów przewietrzania ściany zdeterminowana jest silnie przepisami. Powoduje to szereg ograniczeń i brak chęci dowolnego konfigurowania urządzeń pomiarowych w celu stworzenia optymalnego systemu pomiarowego. Inżynierowie wentylacji często rezygnują z zastosowania pożądanych rozwiązań z powodu konieczności zmagania się z przepisami lub ich brakiem. Nowa koncepcja całkowicie zrywa z tradycyjnym, obwarowanym dotychczasowymi przepisami, sposobem pozyskiwania i wykorzystania danych. Zakłada się przede wszystkim mobilność czujników dzięki ich wbudowaniu w autonomiczne moduły pomiarowe. System jest układem rozproszonych modułów pomiarowych realizujących drogą radiową transmisję danych w kierunku punktów docelowych. Rejon ściany będzie monitorowany przez wielopunktową, przestrzenną sieć modułów rozmieszczonych wzdłuż czoła ściany. Aby to uzyskać proponuje się zabudowanie na każdej sekcji obudowy zmechanizowanej jednego lub więcej modułów pomiarowych. Moduły mogą być rozmieszczone również w innych miejscach, a także na elementach maszyn i urządzeń np. przy spągu wyrobiska, organie urabiającym kombajnu, rynnach przenośnika taśmowego lub na skrzyni górnego napędu.

Nowa koncepcja wymaga całkowitej zmiany przepisów i dopuszczenie do pracy w kopalniach, innych niż topografia gwiazdy, topografii systemów zbierania danych. Inne będzie również podejście do sposobów zasilania modułów pomiarowych. Należy dopuścić zasilanie nie tylko z linii transmisyjnych prowadzonych z powierzchniowych urządzeń telemetrycznych i dołowej sieci elektroenergetycznej, ale dać możliwość wykorzystania energii pochodzącej ze źródeł ciepła, drgań mechanicznych, ruchu powietrza, pola elektromagnetycznego lub dostarczanej przez ruchome części maszyn. Jest to możliwe ze względu na coraz mniejsze zapotrzebowanie układów elektronicznych i sensoryki na moce zasilające. Niestety, niektóre z sensorów niezbędnych do stosowania w warunkach zakładów górniczych, np. czujniki metanu wciąż wymagają stosunkowo dużych mocy zasilających. Sprawia to, że jednym z najtrudniejszych zagadnień przy konstruowaniu czujników pomiarowych dla potrzeb zakładów górniczych jest zapewnienie im energii zasilającej. Standardowe, stosowane w sieciach o topologii gwiazdy rozwiązanie, polega na dostarczeniu energii tą samą linią którą transmitowany jest sygnał pomiarowy. Niesie to za sobą ograniczenia spowodowane wymogami iskrobezpieczeństwa i powoduje ograniczenia mocy jakie mogą być dostarczone do pojedynczej linii transmisyjno-zasilającej. Proponuje się rozwiązanie tego problemu poprzez wykorzystanie sieci elektrycznej znajdującej się w rejonie ściany i zasilanie modułów pomiarowych wprost z niej. Moduły wyposażone byłyby w układy transformatorowe zapewniające zasilanie i jednocześnie ładowanie wbudowanych akumulatorów buforowych. W projektowanym systemie zakłada się wykorzystanie energii elektrycznej pochodzącej z sieci napięcia zmiennego AVC zasilającej na przykład lampy oświetlające wyrobisko ścianowe. Podobne rozwiązanie zastosowano w Autonomicznym Zespole Rejestrująco-Pomiarowym (AZRP) opracowanym na zlecenie Wyższego Urzędu Górniczego przez konsorcjum Instytut Technik Innowacyjnych EMAG i Sevitel Sp. z o.o. [11].

Ze względu na należyte wypełnianie funkcji bezpieczeństwa proponowany system musi mieć określony poziom SIL (*Safety Integrity Level*) – Poziom Nienaruszalności Bezpieczeństwa. Należy rozważyć osiągnięcie nawet poziomu 4. Oczekuje się spełnienia postanowień normy PN-EN 61508-1. Wymaga to zastosowanie specjalnych rozwiązań już na etapie projektowania systemu, łączących wszystkie jego elementy łącznie z oprogramowaniem. Ponieważ system będzie pracował w przestrzeniach zagrożonych wybuchem będzie wymagane również stosowanie zapisów Dyrektywy ATEX 2014/34/UE w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej.

Na rysunku 1 pokazano podstawową strukturę systemu. Podstawowymi elementami są Autonomiczne Moduły Pomiarowe (RF868MHz) rozmieszczone są wzdłuż ściany, w sposób i miejscach wynikających z przeprowadzonej wcześniej analizy potrzeb i możliwości.

Moduły pozwalają na pomiar trzech parametrów, stężenia metanu, prędkości przepływu powietrza i ciśnienia bezwzględego. Uzyskane dane pomiarowo przekazywane są drogą radiową do konwerterów mediów RF868MHz/RS485 zlokalizowanych na skrzyżowaniach ściany z chodnikami przyścianowymi. Rozwiązanie takie jest jednym z elementów realizujących redundancję systemu w celu osiągnięcia zakładanego poziomu SIL. Z tego samego powodu następuje dublowanie przewodowych torów transmisyjnych w obu chodnikach. Tory dublowane są do niezależnych urządzeń odbiorczych znajdujących się na po-



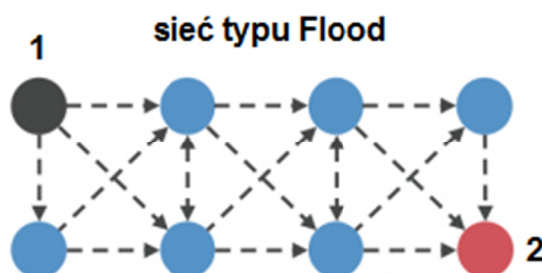
Rys. 1. Struktura rozproszonego systemu monitorowania parametrów fizykochemicznych rejonu ściany

wierzchni i muszą być prowadzone różnymi drogami. Konwerter mediów RF868MHz/RS485 transmituje dane przy pomocy dwuparowej skrętki miedzianej w ekranie do konwertera mediów RS485/100BASE-FX umożliwiającego dalszą transmisję danych jednomodowym włóknem światłowodowym na powierzchnię. Zastosowanie odcinka toru transmisyjnego o standardzie transmisji RS485 wynika z przewidywanej możliwości dopuszczenia do korzystania z systemu innych urządzeń niż Autonomiczne Moduły Pomiarowe. Rozwiązanie to będzie również przydatne w pierwszej fazie prac konstrukcyjnych, w celu wykorzystania tradycyjnej sieci telemetrycznej do testowania modułów RF868MHz.

Dodatkowe obszary monitorowania pokazane na rysunku obejmują strefę możliwych, dodatkowych wpływów lub gromadzenia się metanu i zgodnie z przepisami powinny podlegać kontroli. Dlatego również w nich przewiduje się umieszczenia Autonomicznych Modułów Pomiarowych.

Ze względu na przewidywaną dużą liczbę czujników niezbędne jest zastosowanie inteligentnych protokołów transmisyjnych zapewniających wymaganą skuteczność trasowania. Topologia sieci kratowej typu Flooding Mesh Network (FMS), jaka zostanie zastosowana w systemie, pozwala na szukanie drogi połączeń pomiędzy wszystkimi węzłami. Nie zawsze musi to być droga optymalna. Pozwala to na kontynuowanie transmisji w przypadku gdy któryś z węzłów z dowolnego powodu przestaje być aktywny. Można uznać to za zachowanie *powodziowe*, w którym dane nieustannie zalewają całą sieć w określonym kierunku, aż dotrą do punktu końcowego.

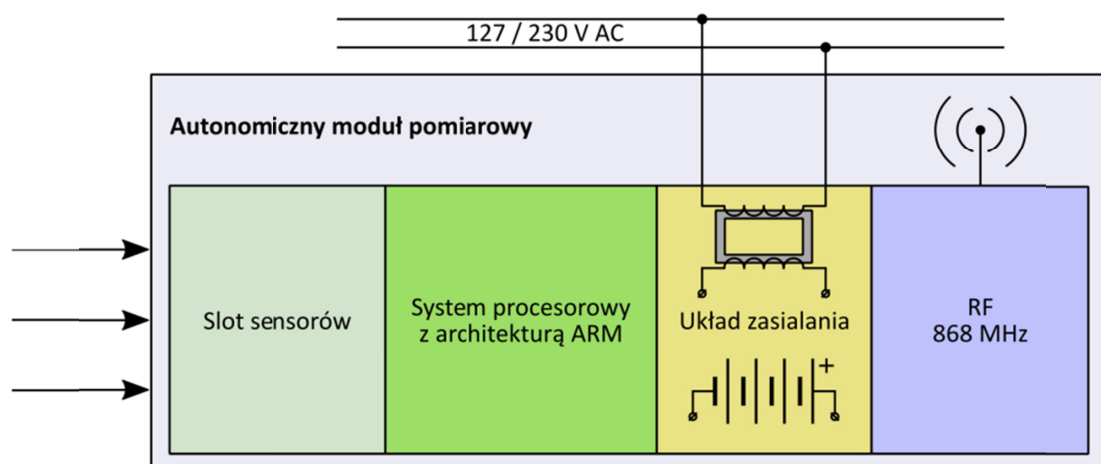
Na rysunku 2 pokazany jest sposób przeprowadzenia transmisji FMS pomiędzy węzłem 1 (nadajnikiem informacji) a węzłem docelowym 2 (odbiorcą informacji). Pozostałe węzły w tym przypadku będą pełnić rolę repeterów (przekazników). Węzeł 2 może być urządzeniem końcowym.



Rys. 2. Topologia sieci bezprzewodowej typu Flooding Mesh Network

W przypadku proponowanego systemu takim węzłem będzie odbiornik radiowy konwertera mediów RF 868MHz/ RS 485. Każdy z węzłów, działając zarówno jak odbiornik i nadajnik, może brać udział w prze-

kazywaniu informacji, która w efekcie dociera do urządzenia końcowego. Niezależnie, każdy z węzłów może być źródłem informacji. Algorytmy protokołów transmisyjnych samodzielnie wybierają ścieżkę przepływu pakietu informacji. Moduł pomiarowy samodzielnie lub na zapytanie inicjuje przekazywanie informacji, która ma dotrzeć do węzła docelowego. Są różne algorytmy Floodingu, które mogą być stosowane w zależności od wymagań stawianych systemowi transmisji danych. Ze względu na specyfikę proponowanego systemu pomiarowego niezbędne będzie opracowanie i testowanie nowych protokołów. Sieci typu Mesh zapewniają duży poziom bezpieczeństwa i niezawodności w przesyłaniu informacji drogą bezprzewodową. Jedną z najbardziej znanych i popularnych sieci kratowych jest oparta o tę technologię ZigBee pracująca w paśmie 2,4 GHz.



Rys. 3. Schemat funkcjonalny Autonomicznego Modułu Pomiarowego RF868MHz

Na rysunku 3 pokazano schematycznie ideę działania modułu pomiarowego. Zastosowano następujące rozwiązania techniczne. Procesorem nadzorującym pracę modułu jest 32 bitowy procesor o architekturze ARM® Cortex® firmy Atmel [8]. Procesor komunikuje ze sobą poszczególne podzespoły modułu, monitorując jednocześnie ich działanie i zarządzając przydziałem energii. Podzespół radiowy zawiera układ firmy AMBER Wireless typu AMB8826 z wbudowaną funkcją Flooding Mesh pozwalającą na adresowanie do 65535 węzłów w 255 sieciach [9]. Moc wyjściowa sygnału radiowego wynosi +14 dBm (@ 50 Ohm). Czułość do -124 dBm (@ 50 Ohm). Pozwala to uzyskiwanie dużych zasięgów transmisji. Układ pracuje w paśmie 868 MHz. Z wieloletniego doświadczenia IMG PAN w konstruowaniu bezprzewodowych systemów transmisji danych na potrzeby górnictwa podziemnego wynika, że wybór tego pasma jest korzystny. Zastosowanie transmisji typu Flood i stosunkowo niewielkie odległości pomiędzy węzłami gwarantują poprawność transmisji w warunkach dużego tłumienia sygnałów elektromagnetycznych z jakim mamy do czynienia w wyrobiskach górniczych. W układzie zasilania zastosowano stosunkowo proste rozwiązanie polegające na zastosowaniu iskrobezpiecznego transformatora oraz pakietu akumulatorów buforowych typu Ni-MH. Moduł jest przeznaczony głównie do monitorowania trzech wielkości, prędkości przepływu, ciśnienia bezwzględnego i stężenia metanu. Przewiduje się jednak użycie go do monitorowania również innych wielkości. Z tego powodu zaprojektowano uniwersalny slot wejściowy pozwalający na podłączenie sensorów o różnych standardach sygnałów wyjściowych w tym napięciowym, prądowym i cyfrowym.

Oddzielnym i trudnym zagadnieniem jest utrzymanie sprawności metrologicznej modułów pomiarowych. Przy założeniu, że w rejonie ściany sieć może tworzyć nawet kilkadziesiąt modułów, stosowane dotychczas procedury wzorcowania będą nieskuteczne. Rozwiązaniem będzie wykonywanie procedur wzorcujących pod ziemią. Będzie to wymagało zabudowania modułowych stacji wzorcujących na wylocie z rejonu ściany. Ze względu na warunki środowiskowe działanie stacji będzie miało charakter sprawdzający, a nie wzorcujący. Muszą jednak zostać spełnione wymagania co do oczekiwanej dokładności sprawdzanego sensora. Dopiero jeżeli procedura sprawdzenia nie pozwoli uzyskać oczekiwanej dokładności wskazań moduł pomiarowy zostanie przetransportowany na powierzchnię w celu jego naprawy. Stacja wzorcująca w przypadku projektowanego modułu będzie musiała umożliwiać sprawdzenie czujnika metanu, prędkości i ciśnienia. W przypadku czujnika metanu przewiduje się automatyczne podanie mieszanki wzorcującej

o dwóch standardowych stężeniach. Ponieważ zostanie zastosowany anemometryczny czujnik skrzydełkowy dla potwierdzenia poprawności charakterystyki wystarczy sprawdzenie go w dwóch punktach pomiarowych. Zrealizowane zostanie to również w procesie automatycznym poprzez wymuszenie dwóch różnych prędkości przepływu w komorze wzorcującej przy pomocy wbudowanego wentylatora. Sprawdzenie ciśnienia nastąpi przy pomocy wbudowanego miernika ciśnienia absolutnego o dokładności większej od miernika wzorcowanego.

Podsumowanie

Zwiększenie ilości punktów pomiarowych w rejonie ścian niewątpliwie wpłynie na podniesienie jakości metrologicznej monitoringu. Poprawiona zostanie niepewność pomiarowa wynikająca z punktowych, lokalnych pomiarów. Nadal jednak nie będzie ona zadawalająca. Taki stan będzie utrzymywać się aż do momentu wynalezienia całkiem nowych, nieznanych obecnie, rozwiązań sensorycznych i metod pomiarowych pozwalających na bezpośredni pomiar strumienia objętości metanu w przekroju wyrobiska, oraz wykrywania w czasie rzeczywistym uaktywniających się źródeł metanu w dowolnym miejscu wyrobiska górniczego. Obecnie wszystkie znane technologie pomiarowe tych wielkości są mało skuteczne w warunkach pracy zespołu wydobywczego. Niepewność danych pomiarowych jest bardzo duża. Należy podkreślić, że nawet całkowite zautomatyzowanie górniczego kompleksu wydobywczego i eliminacja przebywania ludzi w rejonie nie spowoduje konieczności ciągłego dostarczania systemowi automatyki danych pomiarowych. Z tego powodu prace nad rozproszonymi, autonomicznymi i bezprzewodowymi systemami gromadzenia i transmisji danych pomiarowych w rejonie pracy górniczych kompleksów wydobywczych powinny być nadal rozwijane. Należy rozwijać prace nad zagadnieniami trasowania (routing), szczególnie typu *router intelligent* przydatnych w sieciach kratowych jakie będą stosowane w rejonach ścian. Wymagania stawiane sieciom FSM w ścianie wydobywczej mogą być znacząco różne od tych, w sieciach wykorzystywanych dla innych potrzeb. Prace badawczo-rozwojowe powinny obejmować zagadnienia nowych źródeł energii dla potrzeb elementów sieci rozproszonych, przede wszystkim problematykę samozasilania. Bardzo dużym problemem pozostaje kwestia integracji nowego systemu z istniejącymi. Szczególnie trudne będzie to na etapie przejściowym, polegającym na zastępowaniu starych systemów transmisji nowymi. Musi również w końcu zostać rozwiązany problem standaryzacji systemów transmisji danych w sieciach kopalnianych przez wprowadzenie jednego standardu obowiązującego wszystkich producentów. Jest to warunek niezbędny przy wprowadzaniu nowych technologii wymiany informacji.

Praca została wykonana w ramach prac statutowych IMG PAN 2017.

Literatura

- [1] Bohasiewicz M., Jakubów A., Szarafiński M., Wasilewski S., Wojtas P. 2004: *Przegląd systemów monitorowania zagrożeń gazowych w polskich kopalniach*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, Miesięcznik WUG, 10 (122).
- [2] Wasilewski St. 2012: *Systemy kontroli i monitorowania zagrożeń gazowych w polskich kopalniach węgla kamiennego*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, nr 12 (220).
- [3] Kałuża G. 2012: *Górnicy kombajn ścianowy – maszyna przeznaczona do pracy w przestrzeni zagrożonej wybuchem*. Prace naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko, 3/2012.
- [4] Stankiewicz K., Jasiulek D., Jagoda J., Jura J. 2016: *Rozproszone systemy sterowania maszyn i urządzeń górniczych*. Maszyny Górnicze. Nr 3/2016.
- [5] Kloc L., Grzechnik K., Kut St. 2009: *Prowadzenie ściany silnie metanowej – sposób przewietrzania, monitorowania oraz zwalczania zagrożeń naturalnych*. Materiały 5 Szkoły Aerologii Górniczej. KGHM CUPRUM. Wrocław.
- [6] Rozporządzenie Ministra Energii w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych (Dz. U. z 2016 r. poz. 1118).
- [7] Trenczek St., praca zbiorowa. 2015: *Instytut Technik Innowacyjnych EMAG. 40 lat innowacyjności dla gospodarki*. Instytut Technik Innowacyjnych EMAG. Katowice.
- [8] <http://www.atmel.com/products/microcontrollers/arm/default.aspx>.
- [9] <https://www.amber-wireless.de/en/homepage/products/amb-modules.html>.
- [10] Wasilewski St., Dziurzyński W., Krawczyk J., Kozielska R. 2012. *Projekt strategiczny: Poprawa bezpieczeństwa pra-*

- cy w kopalniach. Zadanie 3: Opracowanie zasad pomiarów i badań parametrów powietrza kopalnianego dla oceny zagrożenia metanowego i pożarowego w podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny. Etap 8: Analiza obowiązujących sposobów kontroli parametrów fizycznych i chemicznych przepływu powietrza w wyrobiskach górniczych w oparciu o czujniki systemów telemetrycznych wynikające z przepisów Ministra Gospodarki na tle światowych rozwiązań. IMG PAN, NCBiR. Kraków.
- [11] Trenczek St., Korski W., Krzystanek Z., 2015. *Monitorowanie rejonu ściany za pomocą dodatkowego, niezależnego urządzenia pomiarowego*. Nowoczesne metody zwalczania zagrożeń aerologicznych w podziemnych wyrobiskach górniczych. GIG. Katowice.
- [12] Kruczkowski J., Chmiel W., 2005: *Badania wpływu zaburzeń profilu prędkości powietrza na pomiary anemometrami stacjonarnymi różnych typów*. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN. Vol. 7, No. 1-2.
- [13] 2012. *Projekt strategiczny: Poprawa bezpieczeństwa pracy w kopalniach. Zadanie 3: Opracowanie systemu gazometrycznego powodującego natychmiastowe wyłączenie energii zasilającej maszyny i urządzenia w przypadku nagłego wypływu metanu ze zrobów do wyrobisk eksploatacyjnych. Etap 6: Wykonanie prototypu układu pomiarowego wg założeń. Sprawozdanie z projektu*. GIG, AGH, IMG PAN, HASO s.c.

The concept of a distributed measurement system of physicochemical parameters in the longwall's region which based on the analysis of measurement methods of atmosphere parameters in the coal mine

Abstract

The article presents discussion of measuring methods used in coal mining near longwall area. This discussion was reduced to quantities such as air velocity, pressure and methane concentration. In the result was proposed new solution of metrological stationary system which can be applied to measurements of physicochemical parameters of air in longwall area.

Keywords: mine ventilation, monitoring system, measurement network, flooding mesh, distributed measurement system