

Badanie własności metrologicznych układu pomiarowego do wyznaczania gęstości powietrza

JANUSZ KRUCZKOWSKI

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

Streszczenie

Znajomość gęstości powietrza w systemie wentylacyjnym kopalni głębinowej jest jednym z niezbędnych warunków do przeprowadzenia analizy aerologicznej sieci wentylacyjnej. Najczęściej gęstość powietrza kopalnianego wyznacza się metodą pośrednią na podstawie pomiarów wartości ciśnienia barometrycznego i wskazań termometru suchego i mokrego. Pomiar ciśnienia wykonywany jest przy pomocy barometru. Pomiary temperatur przeprowadza się przy użyciu psychrometru Assmanna. Metoda jest czasochłonna, niewygodna i mało dokładna, szczególnie ze względu na zastosowanie psychrometru. W artykule omówiono system pomiarowy przeznaczony do ciągłej rejestracji wartości gęstości zarówno w czasie jak i przestrzeni. System skonstruowano w oparciu o czujnik ciśnienia bezwzględnego i elektroniczny miernik wilgotności względnej i temperatury. Zastosowane rozwiązania pozwalają na lokalny pomiar i rejestrację z częstotliwością do 1 Hz. Przeprowadzono rejestrację zmian gęstości w warunkach in situ i przedstawiono uzyskane wyniki.

Słowa kluczowe: wentylacja kopalń, pomiary temperatury, pomiary wilgotności względnej, pomiary ciśnienia bezwzględnego, gęstość powietrza

1. Wprowadzenie

Analiza sieci wentylacyjnej kopalni pod kątem struktury systemu przewietrzania i rozprowadzenia powietrza, dostosowania jego parametrów do wymagań zapewniających bezpieczeństwo załogi i możliwość prowadzenia procesów technologicznych, wymaga precyzyjnej znajomości parametrów fizykochemicznych mieszaniny gazowej wypełniającej wyrobiska kopalni. Konieczne jest w tym celu zastosowanie wiedzy i praktyki z zakresu metrologii wielkości fizycznych i chemicznych. Specyficzne środowisko podziemne stawia dodatkowe wymagania, z którymi należy się liczyć przy projektowaniu urządzeń pomiarowych i podczas wykonywania pomiarów.

Znajomość gęstości powietrza przepływającego w systemie wentylacyjnym kopalni głębinowej jest elementem niezbędnym do przeprowadzenia większości analiz aerologicznych sieci wentylacyjnej. Powszechnie stosowaną w praktyce metodą jest wyznaczanie gęstości powietrza na podstawie znajomości wartości ciśnienia barometrycznego i temperatur termometru suchego i mokrego. W tym celu należy dokonać pomiarów wymienionych parametrów fizycznych atmosfery kopalnianej.

Pomiary ciśnienia wykonywane są przy pomocy barometru lub mikrobarometru. Podstawowym przyrządem pomiarowym wykorzystywanym od wielu lat na polskich kopalniach jest mikrobarometr typu Barolux produkcji niemieckiej firmy R.Fuess. Miernik ten przestał jednak spełniać wymagania nowoczesnej techniki pomiarowej. Jego dokładność, a także długi czas jaki potrzebny jest na dokonanie odczytu mierzonego ciśnienia, znacznie odbiegają od możliwości współczesnych przyrządów.

Pomiary temperatur przeprowadza się przy użyciu psychrometru Assmanna. W metodzie psychrometrycznej wykonuje się pomiar temperatur dwoma takimi samymi termometrami [Roszczyniański i in., 1999]. Jeden z nich, nazywany suchym, mierzy temperaturę otoczenia, drugi nazywany mokrym, mierzy temperaturę otoczenia zależną od wilgotności powietrza. Na naczynie termometru mokrego nasunięta jest koszulka z tkaniny nasączonej wodą. Termometry umieszczone są w kanałach, w których występuje ruch

powietrza wymuszony przez wentylator o napędzie mechanicznym lub elektrycznym. Wielkość schłodzenia cieczy termometrycznej termometru mokrego w stosunku do termometru suchego, jest miarą wilgotności względnej powietrza. Również ten przyrząd posiada szereg rozwiązań, które powodują, że pomiar może być obciążony znaczną niepewnością, a jego uzyskanie jest niewygodne i czasochłonne. Np. wynik pomiaru zależy znacznie od prędkości obrotowej wentylatora i jej stabilności. Innymi czynnikami mającymi wpływ na dokładność pomiaru są sposób i stopień zwilżenie koszulki termometru mokrego, a także czas przez jaki prowadzony jest pomiar. Wspólną negatywną cechą obu przyrządów jest brak możliwości gromadzenia danych pomiarowych w pamięci własnej.

Obecnie bardzo wiele danych zarejestrowanych podczas wykonywania pomiarów ruchowych analizowane jest w czasie późniejszym przy wykorzystaniu programów komputerowych np. pakietu VENT-GRAPH [Pałka, 2003]. Stosowana dotychczas w kopalniach technika pomiarowa, nie pozwala na bardziej racjonalne wykorzystanie tych narzędzi z powodu konieczności żmudnego, ręcznego wprowadzania danych pomiarowych. W IMG PAN od wielu lat realizowane są badania i prace, których celem jest wprowadzanie do metrologii wentylacji kopalń najbardziej nowoczesnych rozwiązań. Efektem są wdrożone do warunków ruchowych anemometry rodziny μ AS, mierniki ciśnienia bezwzględne μ BAR (opracowanie z Centrum EMAG) i anemometry stacjonarne rodziny SAS. Opisany w artykule system pomiarowy jest urządzeniem pozwalającym na pomiar i rejestrację kolejnego parametru atmosfery kopalnianej – gęstości, z natychmiastowym dostępem do informacji, bez konieczności oczekiwania na przetworzenie danych pomiarowych na powierzchni.

2. Założenia do projektu systemu

Po analizie dotychczas stosowanych metod pomiarowych prowadzących do wyznaczenia gęstości powietrza kopalnianego, a także uwzględniając dostępność na rynku czujników mogących znaleźć zastosowanie w projektowanym systemie, przyjęto, że w nowym rozwiązaniu należy wyeliminować pomiar wykonywany termometrem mokrym. System powinien być mobilny i zapewniać czas pracy równy co najmniej czasowi trwania jednej zmiany. Bardzo istotne było założenie o jak najkrótszym czasie potrzebnym do wykonania pomiaru, co w połączeniu z wymogiem dokładności znacznie zawężyło grupę dostępnych czujników. Rozważono także możliwość samodzielnej pracy dataloggera wyposażonego tylko w czujnik termohigrometryczny. Takie rozwiązanie pozwalałoby na jego autonomiczną pracę bez czujnika ciśnienia. W przypadku odpowiedniej konstrukcji obudowy i układu wyświetlania wyników, mógłby pełnić rolę bardzo dobrej jakości termohigrometru z rejestratorem, przeznaczonego np. dla zastępów ratowniczych. Urządzenie powinno mieć wbudowany zegar czasu rzeczywistego oraz rejestrować wszystkie mierzone parametry służące następnie do obliczenia gęstości.

3. Wyznaczenie gęstości

Przyjęte założenie o wyeliminowaniu pomiaru termometrem mokrym, wymaga podania zależności pozwalającej wyznaczyć gęstość powietrza bez znajomości tego parametru. Poniżej przedstawiono przekształcenia prowadzące do uzyskania takiej formuły.

Mieszaninę powietrza suchego i pary wodnej nazywamy powietrzem wilgotnym, a jej gęstość ρ można wyznaczyć sumując gęstości powietrza suchego i gęstość pary wodnej [Roszczyński i in., 1999]. Korzystając z równania stanu Clapeyrona otrzymujemy zależność:

$$\rho = \frac{3,484 \cdot 10^{-4}}{t + 273,15} (p - 0,378e) \quad [\text{kg/m}^3] \quad (1)$$

gdzie:

- p – ciśnienie powietrza wyrażone w Pa,
- e – prężność pary wodnej zawartej w powietrzu w Pa,
- t – temperatura powietrza w °C.

Ponieważ wilgotność względna powietrza ϕ jest równa stosunkowi prężności pary wodnej nienasyconej e , do prężności pary nasyconej $E(t)$ w danej temperaturze, możemy napisać:

$$e = \phi \cdot E(t) \text{ [Pa]} \quad (2)$$

Prężność pary wodnej nasyconej $E(t)$ jest funkcją temperatury termometru suchego zawierającego ją powietrza. Znane są zależności empiryczne pozwalające na wyliczenie $E(t)$ nad lodem lub nad wodą dla określonej temperatury. Jedną z takich zależności od temperatury nad wodą (czyli dla temperatur dodatnich, a z nimi spotykamy się głównie w wyrobiskach kopalnianych) przedstawia poniższy wzór:

$$E(t) = 610,6 \cdot 10^{\frac{7,5t}{t+237,29}} \text{ [Pa]} \quad (3)$$

Uwzględniając w zależności (1) związki (2) i (3) otrzymujemy następującą formułę pozwalającą na obliczenie gęstości, jeżeli znane są ciśnienie barometryczne, wilgotność względna i temperatura termometru suchego:

$$\rho = \frac{3,484 \cdot 10^{-4}}{t + 273,15} \left[p - 0,378 \phi \left(610,6 \exp \left(\frac{7,5t}{t + 237,29} \right) \right) \right] \text{ [kg/m}^3 \text{]} \quad (4)$$

Zależność (4) umożliwia wyznaczenie gęstości bez konieczności pomiaru temperatury termometrem mokrym. Wszystkie parametry znajdujące się po lewej stronie równania można zmierzyć przy pomocy czujników elektronicznych. Pozwala to na skonstruowanie systemu procesorowego, który zrealizuje obliczenia według wzoru (4). Po przetworzeniu danych z czujników będzie dostępna jednocześnie informacja o czterech parametrach fizycznych powietrza ρ , t , rh , p .

4. Opis systemu pomiarowego

Przy wyborze czujników podczas konstruowaniu systemu pomiarowego kierowano się następującymi założeniami:

- czujniki powinny posiadać zakresy pomiarowe obejmujące z nadmiarem przewidywane zmiany wielkości mierzonych,
- pożądana jest dobra stabilność długookresowa parametrów metrologicznych,
- czujniki powinny mieć jak najmniejsze stałe czasowe,
- powinny spełniać wymagania środowiskowe,
- muszą zagwarantować możliwość zbudowania urządzenia o konstrukcji przeciwwybuchowej.

Po analizie parametrów dostępnych czujników dokonano wyboru spełniających przyjęte wymagania. Miernikiem ciśnienia barometrycznego w systemie pomiarowym jest czujnik ciśnienia bezwzględnego SETRA model 470. Jest to czujnik membranowy z pojemnościowym sensorem położenia membrany. Poniżej przedstawiono najbardziej istotne dla konstruowanego systemu parametry metrologiczne i techniczne czujnika [SETRA Systems, Inc. 2004]:

- Zakres pomiarowy: 800...1300 hPa
- Dokładność pomiaru: $\pm 0,02\%$ FS
- Rozdzielczość pomiaru: 1 Pa
- Stabilność długookresowa: $< 0,05\%$ FS/rok
- Czas odpowiedzi: 1s
- Interfejs komunikacyjny: RS232

Do pomiarów wilgotności względnej i temperatury wybrano sondę ROTRONICS HygroClip. Sondy wykonywane w technologii HygroClip charakteryzują następujące cechy:

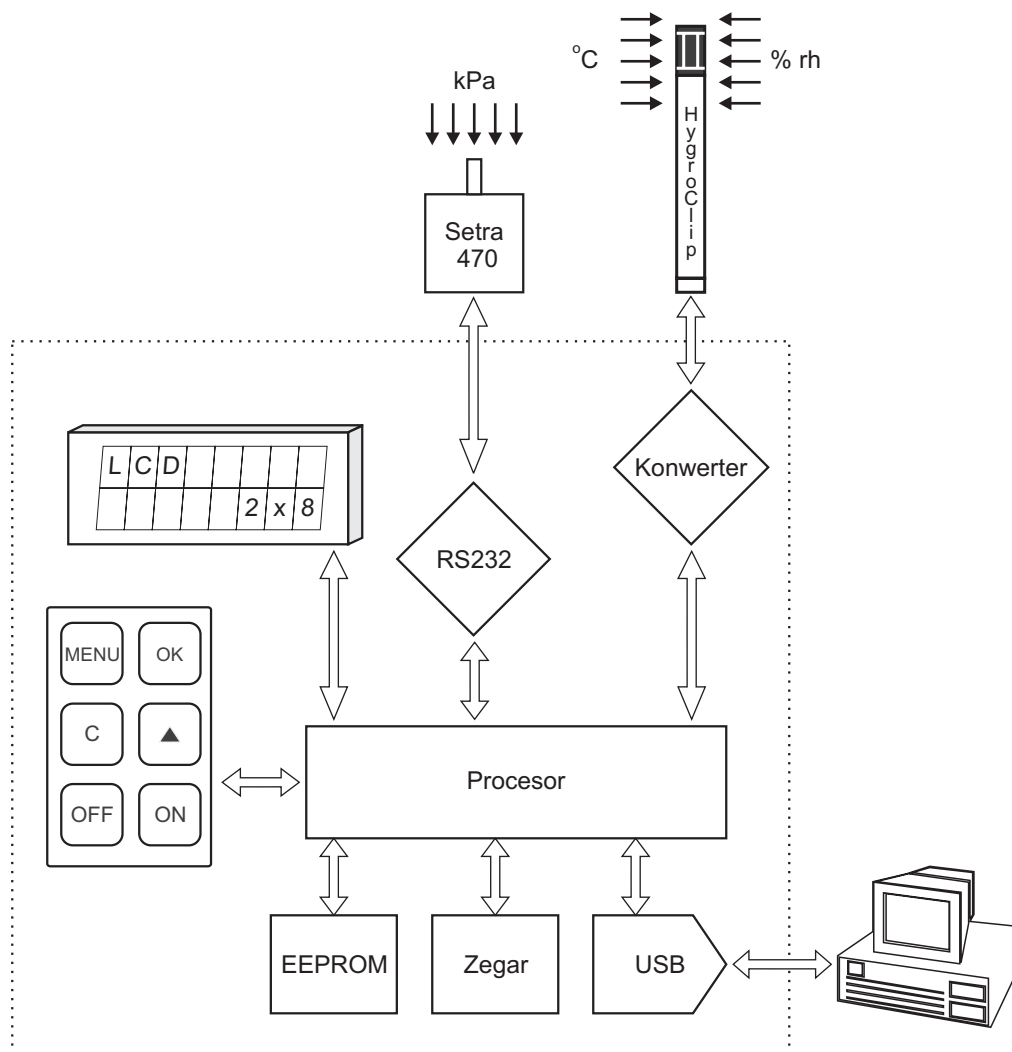
- wysoka liniowość czujnika w całym zakresie pomiarowym
- możliwość wielopunktowej kalibracji
- kompensacja temperaturowa czujnika wilgotności w całym zakresie
- możliwość przetwarzania sygnału cyfrowego
- łatwa kalibracja bez użycia potencjometrów i otwierania sondy
- duża rozdzielczość sygnału cyfrowego

Parametry metrologiczne i techniczne sondy są następujące [ROTRONICS AG 2004]:

- Zakres pomiarowy wilgotności względnej: 0...100 % rh
- Zakres pomiarowy temperatury: -40...85 °C
- Dokładność pomiaru wilgotności dla 23 °C: $\pm 1,0$ % rh
- Dokładność pomiaru temperatury dla 23 °C: $\pm 0,3$ K
- Czas odpowiedzi t_{63} dla 23 °C: < 15 s
- Stabilność długookresowa: $< 1,0$ % rh/rok
- Częstotliwość odpytywania: 0,7 s
- Interfejs komunikacyjny: cyfrowy dwukierunkowy, jednoliniowy

Wybór sondy ROTRONICS wynikał z wieloletniego doświadczenia firmy w konstruowaniu czujników termohigrometrycznych, głównie do zastosowań w trudnych warunkach przemysłowych. ROTRONICS jest również producentem sond w wykonaniu przeciwybuchowym. Na sondzie można montować filtry ze spieków pozwalające na pomiary przy prędkościach do 20 m/s. Dodatkowo firma dostarcza akcesoria do kalibracji swoich sond wraz z roztworami kalibracyjnymi.

Konstrukcyjnie sonda HygroClip została połączona z obudową układu elektronicznego, będącego dataloggerem nadzorującym pracę całego systemu. Dzięki takiemu rozwiązaniu datalogger może być wykorzystywany jako samodzielny miernik wilgotności względnej i temperatury o nazwie μ Tech. Przyłączenie do niego czujnika ciśnienia bezwzględnego pozwala na odpowiednie przetworzenie danych w celu obliczenia gęstości powietrza. Algorytmy pomiarowe są tak skonstruowane, że na wyświetlaczu dataloggera pojawiają się kolejno informacje o mierzonych; temperaturze, wilgotności, ciśnieniu i gęstości. Na rysunku 1 przedstawiono schemat blokowy systemu pomiarowego.



Rys. 1. Schemat blokowy systemu pomiarowego

Układy znajdujące się wewnątrz obszaru oznaczonego linią przerywaną i sonda HygroClip stanowią jedno urządzenie. Sondę zamocowano w gnieździe umieszczonym na obudowie pozwalającym na jej odłączenie. Elementem zarządzającym pracą systemu jest procesor jednoukładowy z rodziny 87C52. Do portów procesora, przez układ interfejsu szeregowego RS232, podłączony jest czujnik ciśnienia SETRA. Podłączenie sondy wilgotności i temperatury zostało zaprojektowane w sposób umożliwiający wykorzystanie nie tylko czujnika firmy ROTRONICS, ale także firmy LAMBRECHT (podczas analizy rynku czujników brano pod uwagę również produkty tego producenta [LAMBRECHT GmbH. 2004]). Ponieważ obydwa czujniki różnią się interfejsami komunikacyjnymi, w torze pomiarowym znajduje się układ konwertera pozwalający na doprowadzenie do procesora sygnałów analogowych lub cyfrowych. Takie rozwiązanie pozwala na dołączanie sond pomiarowych innych producentów. Dane pomiarowe ze wszystkich czujników rejestrowane są w pamięci nie ulotnej typu E²PROM o dużej pojemności. Istotnym elementem układu jest zegar czasu rzeczywistego, który może być ustawiany z komputera zewnętrznego, umożliwiając tym samym wzajemną synchronizację czasową kilku systemów. Komunikacja pomiędzy systemem a komputerem zewnętrznym zorganizowana jest w standardzie USB. Do komunikacji pomiędzy urządzeniem a operatorem służy 6 przyciskowa klawiatura i wyświetlacz alfanumeryczny 2×8 znaków. Układ elektroniczny dataloggera zasilany jest z wbudowanego akumulatora. Ten sam akumulator służy jednocześnie do zasilania sondy wilgotności i temperatury. Czujnik ciśnienia wyposażono w autonomiczne akumulatorowe źródło zasilania. Na fotografii 1 pokazano datalogger μ Tech i obudowę mieszczącą wewnątrz czujnik ciśnienia SETRA 470 wraz z układem zasilania.



Fot. 1. Elementy systemu pomiarowego Datalogger μ Tech z czujnikiem HygroClip i czujnik Setra 470

Przyrządy widoczne są bez futerałów chroniących je podczas transportu przez kopalnię. Sondę HygroClip zamocowano do górnej części obudowy dataloggera. Na fotografii nie pokazano osłony chroniącej HygroClip przed uszkodzeniami mechanicznymi. Po połączeniu wtyku przewodu wyprowadzonego z czujnika ciśnienia z gniazdem wejściowym dataloggera, następuje nawiązanie komunikacji pomiędzy urządzeniami i uruchomienia systemu pomiarowego pozwalającego na lokalne pomiary i rejestrację gęstości atmosfery kopalnianej. Wskazania wyświetlacza zmieniają się cyklicznie, umożliwiając kolejno odczyty temperatury, wilgotności, ciśnienia i gęstości. Modyfikacja wyników następuje w przypadku trzech pierwszych wielkości co 2 sekundy. Gęstość modyfikowana jest w odstępach 15 sekundowych, po obliczeniu średniej z pozostałych wielkości w tym okresie. Do pamięci dane pomiarowe z czujników mogą być zapisywane z maksymalną częstotliwością około 1 Hz. Pomiędzy cyklami pomiarowymi parametrów fizycznych na wyświetlaczu pokazywany jest zegar czasu rzeczywistego.

4. Pomiar gęstości w warunkach *in situ*

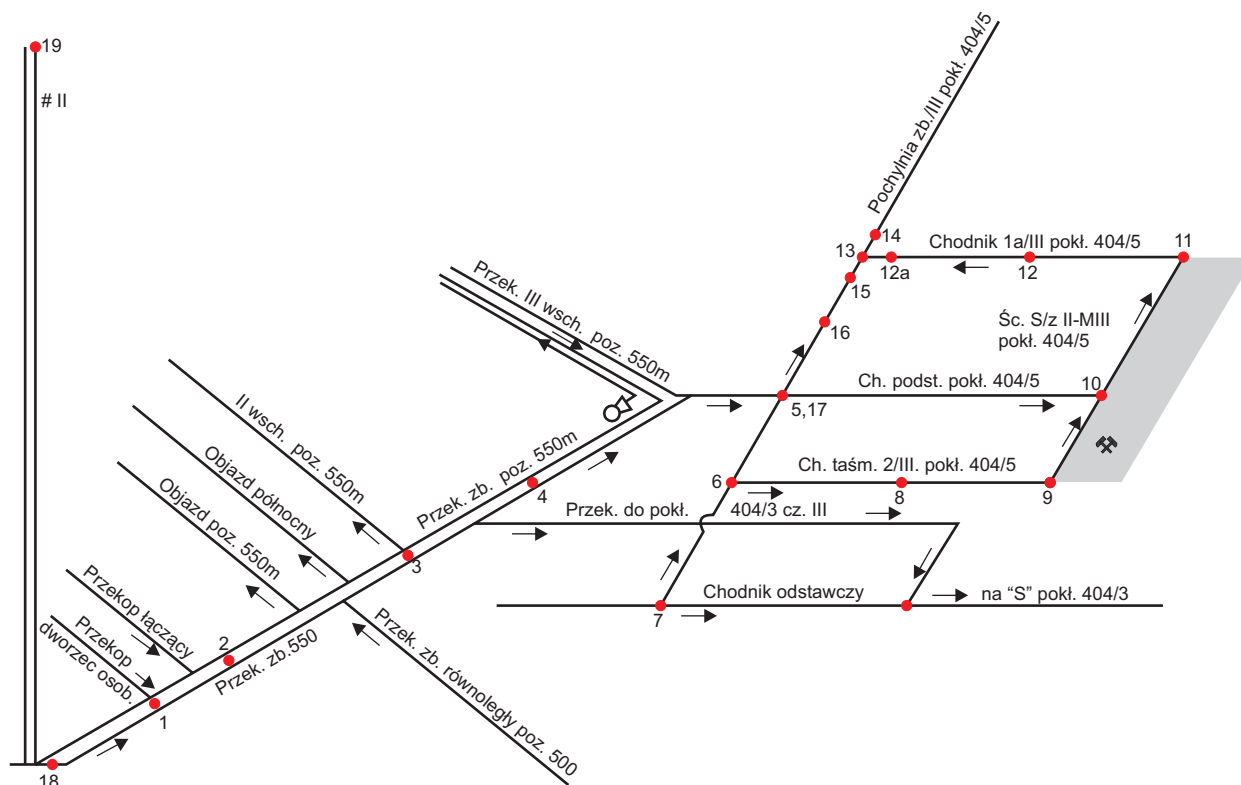
Badania układu pomiarowego w warunkach ruchowych, z których wyniki zamieszczono w niniejszym opracowaniu, przeprowadzono na kopalni „Chwałowice”. Wybrano rejon ściany w którym spodziewano się dużej zmienności temperatury i wilgotności względnej. Dodatkowo w rejonie występowały znaczne zmiany wysokości względnej, oraz lokalne źródła ciepła pochodzącego od maszyn i urządzeń elektrycznych. W jednym z chodników była zabudowana przeciwybuchowa zapora wodna. W pochylni znajdowała się zapora pyłowa. Wymienione elementy stwarzały bardzo niekorzystne warunki środowiskowe dla badanych czujników, a także narzucały stosunkowo szeroki zakres pomiaru poszczególnych parametrów. O ile czujnik ciśnienia był już sprawdzany w warunkach ruchowych (jest on stosowany w miernikach typu μBAR), i jego działanie a także stabilność parametrów metrologicznych należy ocenić bardzo dobrze [Krawczyk i Kruczkowski, 2003], to czujnik termohigrometryczny poddawano badaniom po raz pierwszy. Wcześniejsze próby wykorzystania innych czujników zakończyły się niepowodzeniem.

Na rysunku 2 pokazano schematycznie wyrobiska rejonu ściany w pokładzie 404. Rejestrację gęstości prowadzono w sposób ciągły począwszy od punktu oznaczonego numerem 1 znajdującego się w pobliżu podszybia, a następnie przemieszczając się przekopem zbiorczym do skrzyżowania pochylni z chodnikiem podstawowym. Następnie wykonano przejście chodnika podścianowego, ściany, chodnika nadścianowego i powrócono pochylnią zbiorczą do skrzyżowania z chodnikiem podstawowym. W trakcie prowadzenia pomiarów na ścianie nie były prowadzone roboty urabiające. W artykule zostaną przedstawione wyłącznie wyniki pomiarów lokalnych, dokonanych w wybranych miejscach rejonu. Pominięte zostaną dane zarejestrowane pomiędzy nimi. W przypadku przemieszczania systemu pomiarowego wzdłuż wyrobisk, zasadna byłaby znajomość jego położenia w każdym momencie wykonywania pomiaru, wówczas można byłoby badać rozkład gęstości wzdłuż wyrobiska. Omawiany system nie dysponuje taką możliwością, dlatego w tym opracowaniu zostaną podane dane ze ściśle określonych miejsc.

Kolejnymi liczbami oznaczono punkty pomiarowe, w których dokonywano rejestracji pomiarów gęstości podczas obejścia rejonu. Ponieważ system ma wbudowany zegar czasu rzeczywistego pomiarom można przypisać czas w którym zostały wykonane. Identyfikacja danych polega następnie na sprawdzeniu etykiety odpowiadającej numerowi punktu pomiarowego, która została wprowadzona w czasie przebywania w miejscu pomiaru. Czas przebywania w każdym punkcie pomiarowym wynosił około 1 minuty. W tym okresie czasu praktycznie nie obserwowano zmian wilgotności i temperatury, jednak pod warunkiem, że nie zmieniano położenia czujnika w przestrzeni. Zmiany były widoczne np. przy przemieszczaniu czujnika w kierunku nasączonego wodą spągu.

Wyniki pomiarów zamieszczono w tabeli 1. Podane zostały wszystkie zarejestrowane parametry. Czas w ostatniej kolumnie jest momentem w którym układ procesorowy obliczył wartości gęstości na podstawie zebranych wcześniej danych. Analizując dane pod względem jakościowym nie można wykazać rozbieżności z wartościami przewidywanymi teoretycznie. Ze względu na bardzo dobre, jak przedstawiono wcześniej, parametry metrologiczne czujników, należy przyjąć, że otrzymane wyniki są obciążone zdecydowanie mniejszą niepewnością niż gdyby zostały uzyskane tradycyjną metodą pomiarową.

W celu zweryfikowania czułości systemu przeprowadzono eksperyment pomiarowy mający na celu stwierdzenie występowania zjawiska mieszania się strumieni o różnych gęstościach. W tym celu na skrzyżowaniu chodnika nadścianowego z pochylnią, w punkcie 13 wykonano pomiary na środku skrzyżowania, a następnie w odległości około 20 m w każdej z bocznic przylegających. Gęstości zmierzono na dolotach w punktach 15 i 12a, i w prądzie wylotowym w punkcie 14. Uzyskane wyniki (patrz: tabela 1) są zgodne z oczekiwanymi. Pomiary powtarzano wielokrotnie, za każdym razem otrzymując wynik zgodny lub bardzo zbliżony do zamieszczonego w tabeli. Pomimo, że niniejszy artykuł nie dotyczy problemów związanych z analizą zjawisk występujących w sieci wentylacyjnej, należy zwrócić uwagę na fakt występowania różnych gęstości w otoczeniu węzła.



Rys. 2. Schemat przestrzenny wyrobisk w pokł. 404/5

Tab. 1. Wyniki pomiarów

Miejsce pomiaru	ρ [kg/m ³]	T [°C]	ϕ	p [Pa]	Czas pomiaru
1	1,256	18,2	0,264	105229	14:50:39
2	1,266	15,8	0,282	105163	14:55:29
3	1,270	14,8	0,311	105149	15:01:29
4	1,266	14,2	0,377	104682	15:07:13
5	1,258	15,7	0,513	104673	15:10:55
6	1,261	15,6	0,584	104937	15:19:49
7	1,262	15,8	0,571	105057	15:24:39
8	1,260	15,7	0,642	104916	15:31:29
9	1,256	16,6	0,654	104962	15:40:15
10	1,246	17,9	0,710	104661	15:46:29
11	1,236	18,8	0,799	104267	15:52:57
12	1,235	19,0	0,843	104269	15:59:45
12a	1,237	18,6	0,850	104274	16:06:19
13	1,251	16,3	0,457	104219	16:08:45
14	1,244	17,0	0,608	104067	16:11:47
13	1,251	16,2	0,468	104207	16:16:25
15	1,253	15,8	0,462	104261	16:20:19
16	1,258	15,6	0,452	104542	16:25:25
17,5	1,259	15,7	0,453	104670	16:28:19
17,5	1,260	15,4	0,475	104671	16:31:57
18	1,259	17,7	0,244	105296	17:04:35
19	1,211	10,6	0,284	98725	17:10:19

5. Podsumowanie

Przedstawiony system pomiarowy umożliwia wyznaczenie lokalnej wartości gęstości powietrza w wyrobiskach kopalni głębinowej. Zastosowany czujnik wilgotności funkcjonował poprawnie w warunkach dużego zapylenia i dużych zmian wilgotności. Zdecydowanie zmniejszono czas wykonywania pomiarów w stosunku do metody pomiarowej stosowanej dotychczas. Dane o gęstości powietrza są dostępne w miejscu wykonywania pomiarów. Jednocześnie dokonuje się pomiaru trzech i wylicza czwarty parametr fizyczny atmosfery kopalni, a następnie wyniki rejestrowane są w pamięci dataloggera. Pozwala to na znaczne usprawnienie uzyskiwania danych pomiarowych. Stosowana w IMG PAN metoda pomiarów ciśnień bezwzględnych przy pomocy mierników typu μ BAR wykorzystywana m.in. do potrzeb tworzenia schematów potencjalnych, została wzbogacona o możliwość jednoczesnego wyznaczenia gęstości. Dotychczas, ze względu na czasochłonność tradycyjnej metody, gęstości w węzłach były często wyznaczone w oparciu o pomiary wykonywane w innym czasie niż pomiar ciśnienia. Obecnie pojawia się możliwość pomiaru jednoczesnego, a ze względu na wbudowane zegary czasu rzeczywistego, wykonywanego synchronicznie w różnych miejscach sieci wentylacyjnej.

Zastosowanie wysokiej jakości sondy higrometrycznej jaką jest HygroClip i miernika ciśnienia klasy SETRA 470 pozwala na uzyskanie wyniku pomiaru obciążonego mniejszą niepewnością niż w metodzie tradycyjnej. Wynika to ze zdecydowanie lepszych parametrów metrologicznych czujników i z wyeliminowania – dzięki innej zasadzie pomiaru – możliwości uzyskania nieprawidłowych wyników z powodu błędów popełnianych przez operatora.

Poprawa jakości danych pomiarowych wynika również z możliwości samodzielnego sprawdzania parametrów metrologicznych sondy termohigrometrycznej. Możliwe jest to dzięki dostarczanym przez producenta akcesoriom umożliwiającym bieżącą kontrolę i adjustację sondy.

Należy rozważyć możliwość uwzględnienia w przyszłości w metodzie obliczenia gęstości, zmian składu wentylacyjnego powietrza suchego spowodowanego np. zwiększeniem obecności metanu. Będzie to związane z koniecznością rozbudowy układu pomiarowego przedstawionego systemu.

6. Literatura

1. Krawczyk J., Kruczkowski J., 2003: *Badanie własności metrologicznych barometrów μ BAR w aspekcie pomiarów w kopalni*, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa. Nr 387.
2. Pałka T., 2003: *Nowe kierunki rozwoju pakietu VENTGRAPH*, Prace Instytutu Mechaniki Górniczej PAN. T5/Nr1.)
3. Roszczynialski W., Trutwin W., Waclawik J., 1999: *Kopalniane pomiary wentylacyjne*, Wydawnictwo „Śląsk”. Katowice.
4. Materiały i dokumentacja techniczna firmy ROTRONICS AG. www.rottronics.ch (2004)
5. Materiały i dokumentacja techniczna firmy SETRA Systems, Inc. www.setra.com (2004)
6. Materiały i dokumentacja techniczna firmy Wilh. LAMBRECHT GmbH. www.lambrecht.net (2004)

Research on metrological properties of a system for measurement of density of air

Abstract

Thorough analysis of underground Mine Ventilation Systems requires consideration of actual distribution of density of air in workings. The most popular is an indirect method, based on measurements of local dry and wet bulb temperature and absolute pressure. For the pressure readout a barometer is used, temperatures are measured with the Assmann psychrometer. This method is time consuming, inconvenient and inaccurate, in particular due application of the psychrometer. The paper describes a measuring system for continuous recording of density both in time and space. The system is based on absolute pressure sensor and electronic sensor of relative humidity and temperature. This device enables local measurements and recording with frequency up to 1 Hz. Results of recording of variability of density, carried in situ conditions were presented.

Keywords: mine ventilation, temperature measurements, relative humidity measurements, absolute pressure measurements, density of air

Recenzent: Dr hab. inż. *Stanisław Wasilewski*, EMAG