

Metoda pomiaru strumienia objętości gazu w otworach odmetanowania

JANUSZ KRUCZKOWSKI

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

Streszczenie

Jedną z metod prowadzenia profilaktyki metanowej w kopalniach węgla kamiennego jest odgazowanie złoża przy pomocy otworów drenażowych. Dobór właściwych parametrów charakteryzujących otwory drenażowe jest jednym z kluczowych elementów wpływających na efektywność metody. Rozpoznanie zjawisk mających wpływ na intensywność wydzielania się metanu wzdłuż otworu pozwoliłoby skuteczniej optymalizować te parametry. Wymaga to między innymi opracowania metody pozwalającej na pomiar strumienia objętości metanu wzdłuż całej długości otworu. W artykule opisano konstrukcję miernika strumienia objętości metanu przeznaczonego do pomiarów badawczych w otworach odmetanowania. Omówiono procedurę wzorcowania. Pokazano przykładową rejestrację wykonaną w otworze drenażowym.

Słowa kluczowe: zagrożenia metanowe, profilaktyka metanowa, odmetanowanie otworowe, strumień objętości metanu

1. Wprowadzenie

Profilaktyka zagrożeń metanowych należy do podstawowych zagadnień związanych z zapewnieniem bezpieczeństwa w kopalniach głębinowych węgla kamiennego. Jedną ze stosowanych metod jest odgazowanie złoża przy pomocy otworów drenażowych. Zapewnienie skuteczności i spełnienie wymagań ekonomicznych przy stosowaniu tej technologii jest możliwe jedynie przy dobrym rozpoznaniu zjawisk zachodzących w górotworze (Filipecki i in., 2006). Prowadzone dotychczas badania ze względów technicznych ograniczały się zazwyczaj do analizy pomiarów uzyskiwanych na wylocie otworu drenażowego (Badura i in., 2011). Dobór optymalnych parametrów charakteryzujących otwory drenażowe wymaga jednak również przeprowadzenia badań dopływu metanu do otworu w funkcji jego długości.

Pomiar rozkładu wielkości strumienia objętości mieszaniny powietrzno - metanowej wzdłuż długości odwiertu odmetanowania jest bardzo trudnym i złożonym zagadnieniem. Urządzenie pomiarowe musi zostać wprowadzone do otworu (nawet o długości przekraczającej 100 m) o nieprzewidywalnej i niestabilnej strukturze ścian, przesunięte do jego końca, a następnie wycofane do wylotu. Podczas przemieszczania wzdłuż otworu powinno wykonywać ciągłą rejestrację wielkości strumienia. Ponadto, powinno jak najmniej zaburzać swoją obecnością wielkość mierzoną.

Konstrukcja miernika wymaga uwzględnienia szeregu czynników z których najważniejsze to:

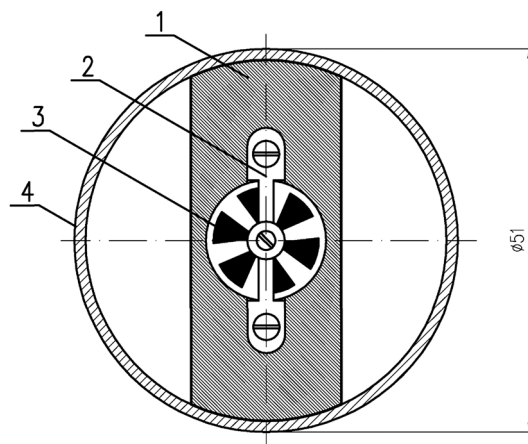
- bardzo słabo znane i nieprzewidywalne warunki środowiskowe,
- zanieczyszczenia mechaniczne i chemiczne,
- trudna do oszacowania wymagana charakterystyka dynamiczna i dynamika zakresu pomiarowego,
- konieczność zapewnienia całkowitej autonomii funkcjonalnej,
- konstrukcja elektryczna i mechaniczna przewidująca możliwość wystąpienia atmosfery wybuchowej (wykonanie Ex),
- konieczność zapewnienia sposobu identyfikacji miejsca położenia,
- możliwość wielokrotnego wykorzystania.

Wymienione wyżej czynniki sprawiają, że nie można wskazać łatwo metody pomiarowej gwarantującej powodzenie. Po analizie dostępnych metod pomiaru strumienia objętości, zdecydowano się na wybór jako elementu pomiarowego, anemometrycznego czujnika skrzydełkowego. Czujniki skrzydełkowe są powszechnie wykorzystywane do pomiarów badawczych i wentylacyjnych w kopalniach (Kruczkowski, 2008). Zaletą takiego typu czujnika jest niewrażliwość na większość rozpoznanych i mogących wystąpić w otworze odmetanowania niekorzystnych od strony podejścia metrologicznego zjawisk. Czujnik w zakresie zmian spodziewanych w otworze drenażowym jest odporny na temperaturę, wilgotność, zapylenie i gęstość medium. Nie jest odporny na uszkodzenia mechaniczne. Dotyczy to przede wszystkim łopatek wirnika. Zastosowanie odpowiednich rozwiązań konstrukcyjnych może jednak znacząco tą odporność zwiększyć. Dodatkowym problem jest to, że czujnik anemometryczny mierzy prędkość strugi mieszaniny gazowej. Aby otrzymać wartość strumienia objętości należy przeprowadzić odpowiednią procedurę wzorcowania.

2. Opis konstrukcji elektronicznej i mechanicznej sondy pomiarowej

Opracowując urządzenie do pomiaru strumienia objętości gazu w otworach odmetanowania, nie da się uniknąć szeregu kompromisów. Trudno jest pogodzić np. wymóg nieinwazyjności metody z koniecznością wprowadzenia do otworu drenażowego układu pomiarowego. Dodatkowo wymagane jest skierowania całego strumienia gazu do przestrzeni pomiarowej. Uwaga ta dotyczy każdego miernika, bez względu na metodę pomiaru jaką zastosujemy.

Konstrukcję czujnika skrzydełkowego i jego położenie w osłonie urządzenia pomiarowego pokazano na rys. 1. Korpus obudowy (1) skrzydełka pomiarowego wykonano z wałka mosiężnego o średnicy 20 mm. Zamocowany został w rurowej osłonie ze stali kwasoodpornej (4) o średnicy zewnętrznej 51 mm. W układzie łożyskowania zostały użyte łożyska ślizgowe z szafiru syntetycznego. Konstrukcja wsporników łożysk (2) umożliwia wykonywanie regulacji luzu poosiowego. Oś wykonano ze stali kwasoodpornej. Sześciołopatkowe skrzydełko (3) zostało wykonane z blachy typu PA7 o grubości 0,5 mm. Średnica skrzydełka wynosi 16 mm. Elementem elektrycznym reagującym na ruch łopatek wirnika skrzydełkowego jest czujnik indukcyjny umieszczony w korpusie obudowy czujnika skrzydełkowego.



Rys. 1. Konstrukcja anemometrycznego czujnika skrzydełkowego zastosowanego w mierniku

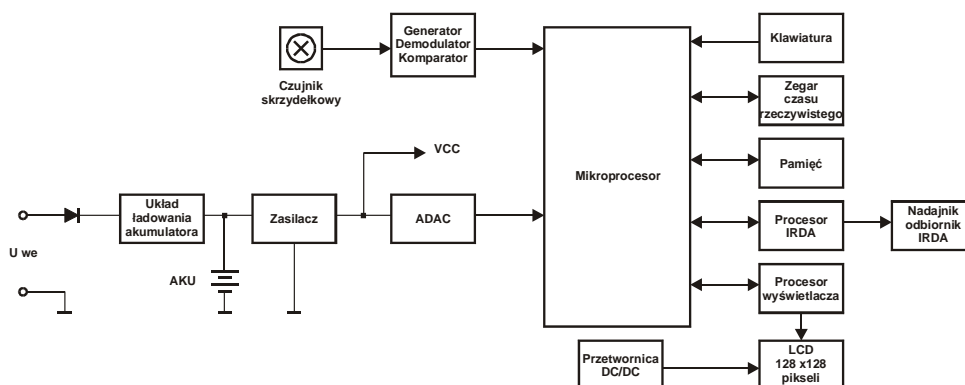
Widok kompletnego zespołu czujnika anemometrycznego z wmontowanym czujnikiem indukcyjnym jest pokazany na rys. 2. Element ten może pracować w szerokim zakresie temperatur od -20°C do $+70^{\circ}\text{C}$ i przy wilgotności do 100% RH. Jest niewrażliwy na zmiany gęstości medium w spodziewanym zakresie stosowania.

Schemat blokowy układu elektronicznego pokazano na rys. 3. Czujnik skrzydełkowy wyposażony jest w element indukcyjny reagujący na ruch przesuwających się przed nim łopatek wirnika. Sygnał elektryczny o przebiegu prostokątnym i częstotliwości proporcjonalnej do prędkości obrotowej skrzydełka formowany jest w układzie generator-demodulator-komparator. Następnie podany zostaje na wejście mikroprocesora sterującego elektronicznym układem pomiarowym. W układzie pracują dwa dodatkowe procesory, z których



Rys. 2. Widok anemometrycznego czujnika skrzydełkowego

jeden obsługuje port komunikacyjny a drugi wyświetlacz. Port komunikacyjny jest portem podczerwieni typu IrDA. Służy do transmisji danych pomiędzy urządzeniem i komputerem zewnętrznym. Przy jego pomocy wykonuje się również procedurę adjustowania urządzenia. Kolorowy wyświetlacz graficzny o rozdzielczości 128×128 pix., ze względu na konieczność odciążenia głównego procesora obsługiwany jest przez procesor pomocniczy. Przetwornica DC/DC zapewnia podświetlenie ekranu z dużą intensywnością, co jest istotne w warunkach kopalnianych. Miernik wyposażony jest w pamięć o pojemności 1024 K. Pomiary wykonywane są z częstotliwością 1 Hz. Pojemność pamięci wystarcza na 15 godzin ciągłej rejestracji. Wbudowany zegar czasu rzeczywistego pozwala na synchronizowanie pomiarów z położeniem miernika w otworze odmetanowania. Istotną rolę pełni układ zasilania. Pozwala na naładowanie wbudowanego akumulatora Ni-MH o pojemności 0,8 Ah i kontrolę jego parametrów poprzez przetwornik analogowo-cyfrowy. Akumulator zapewnia 24 godzinne działanie miernika. Do obsługi miernika i ustawiania parametrów jego pracy służy klawiatura membranowa. Układ elektroniczny zamknięty jest w hermetycznej obudowie wykonanej z tworzywa sztucznego i wyposażonej w hermetycznie zamykane gniazdo do ładowania akumulatora.

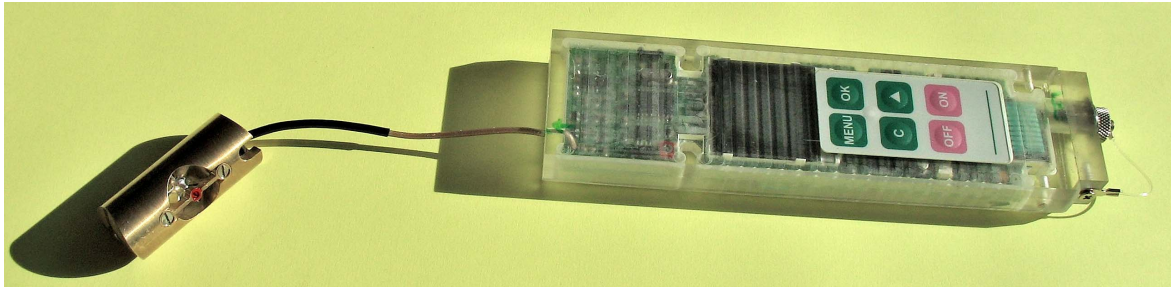


Rys. 3. Schemat blokowy układu elektronicznego

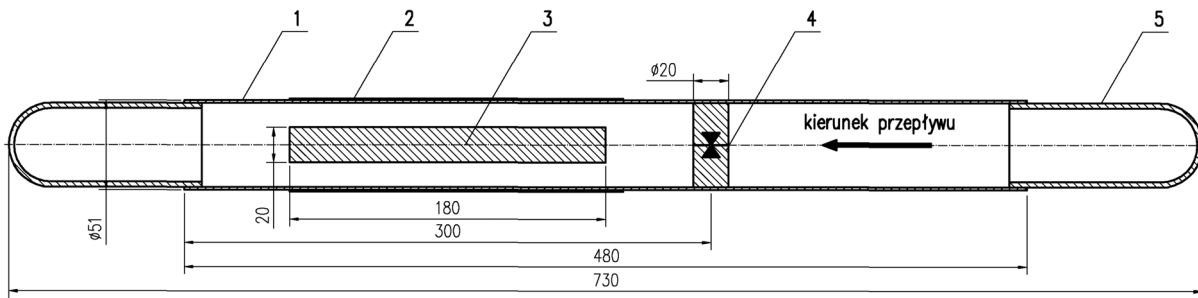
Na rys. 4 pokazano kompletny zespół elektroniczny zastosowany w mierniku. Widoczne są, znajdująca się na zewnątrz klawiatura, i umieszczony wewnątrz przezroczystej obudowy wyświetlacz. W tym ujęciu nie jest widoczny nadajnik portu podczerwieni.

Na rys. 5 pokazano konstrukcję mechaniczną miernika. Wewnątrz stalowej rury (1) umieszczono zespół elektroniki (3) połączony z czujnikiem anemometrycznym (4). W korpusie rury wycięte są otwory umożliwiające dostęp do klawiatury i wyświetlacza. Otwory te zamykane są przed wprowadzeniem miernika do otworu odmetanowania za pomocą obrotowo przesuwanej metalowej sprężystej osłony (2).

Z obu stron rury przymocowano wykonane ze stalowych płaskowników strzemiiona (5), do których mocowana jest stalowa linka pozwalająca na przesuwania miernika wzdłuż otworu. Wcześniej na dno otworu wprowadza się klin rozporowy z zamocowanym obrotowym bloczkiem, przez który będzie prowadzona



Rys. 4. Kompletny zespół elektroniki wraz z czujnikiem skrzydełkowym



Rys. 5. Konstrukcja mechaniczna miernika

linka. Wystające z otworu końce linki umożliwiają przeciąganie miernika w odpowiednim kierunku. Strzeżona pełnią również rolę elementów zabezpieczających przed dostawaniem się do przestrzeni pomiarowej ciał obcych.

Widok konstrukcji mechanicznej obudowy pokazany jest na rys. 6. Widoczne są trzy zespoły uszczelniające miernik w otworze odmetanowania. Każdy zespół składa się z gumowego kołnierza i dwóch mocujących go mosiężnych pierścieni. Zespoły mogą być demontowane. W zależności od potrzeb (średnicy otworu odmetanowania) można również zmieniać średnicę kołnierzy.

Na rys. 7. widoczne jest kompletne urządzenie pomiarowe, z zamkniętym dostępem do klawiatury i ekranu, przygotowane do penetracji otworu odmetanowania.



Rys. 6. Widok obudowy miernika

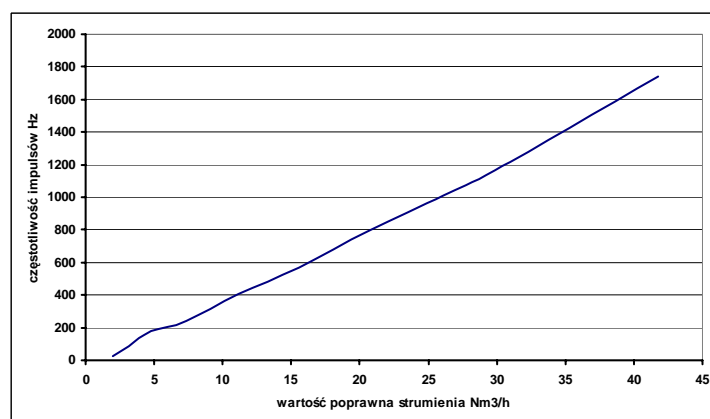


Rys. 7. Miernik natężenia strumienia gazu w otworach odmetanowania

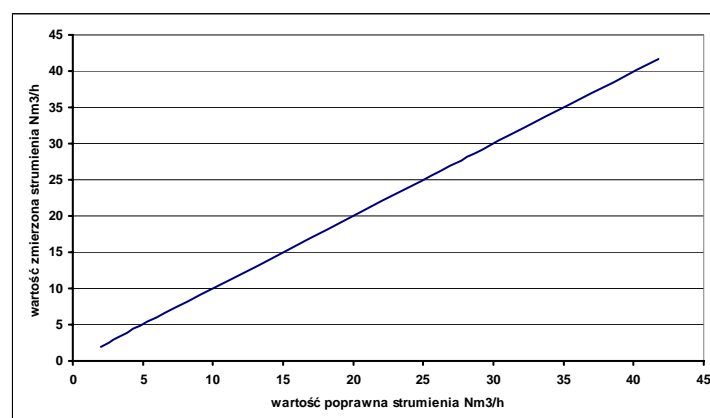
3. Wzorcowanie miernika

Aby urządzenie mogło spełniać funkcję miernika strumienia objętości należało poddać je procesowi adjustacji i wzorcowania. W tym celu wykorzystano stanowisko pomiarowe składające się z zadajnika strumienia objętości zbudowanego w oparciu o średniociśnieniowy wentylator promieniowy o napędzie bezpośrednim firmy Venture Industries, sterowany przemiennikiem częstotliwości firmy Hitachi. Rozwiązanie takie gwarantuje generowanie strumienia objętości powietrza o wymaganym i stabilnym natężeniu. Elementami pomiarowymi były wzorcowane kryzy kwadrantowe. Miernikiem różnicy ciśnień na kryzach i ciśnienia statycznego na dopływie do kryzy był wzorcowany miernik różnicy ciśnień firmy WALLACE & TIERNAN. Wyposażenie dodatkowe stanowiły: miernik ciśnienia bezwzględnego typu μBAR z czujnikiem SETRA 470, psychrometr Assmanna i miernik temperatury składający się z multimetru firmy KEITHLEY i czujnika platynowego firmy ISOTECH. Została zachowana spójność pomiarowa poprzez odniesienie się do państwowych wzorców jednostki miary w przypadku użytych zasadniczych przyrządów pomiarowych.

Oprogramowanie miernika umożliwia przeprowadzenie procedury adjustacji. W tym celu miernik łączy się z komputerem z uruchomionym programem adjustującym. Następnie zadaje się wymagane przez procedurę adjustującą wartości strumienia i przypisuje odpowiadające im generowane przez skrzydełko czujnika anemometrycznego częstotliwości. Miernik został wywzorcowany dla zakresu pomiarowego 2-42 Nm^3/h . Na rys. 8 i 9 zostały pokazane charakterystyki czujnika skrzydełkowego i miernika natężenia strumienia objętości.



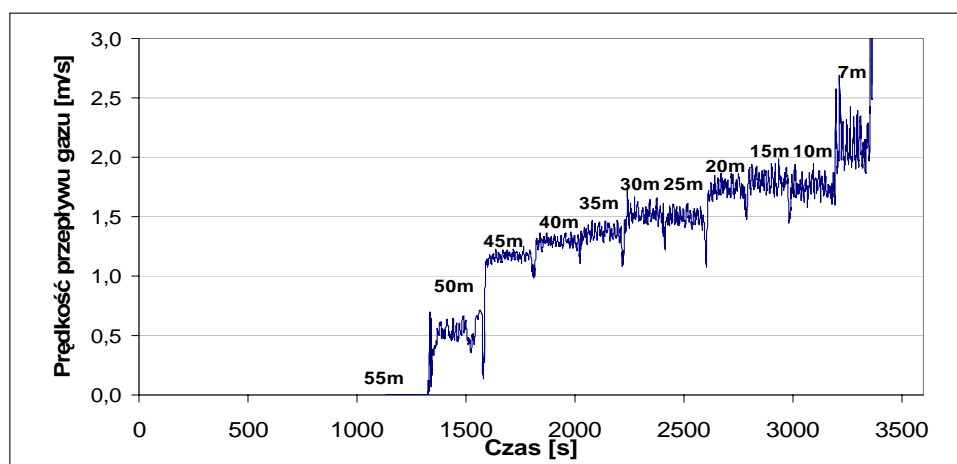
Rys. 8. Charakterystyka czujnika skrzydełkowego



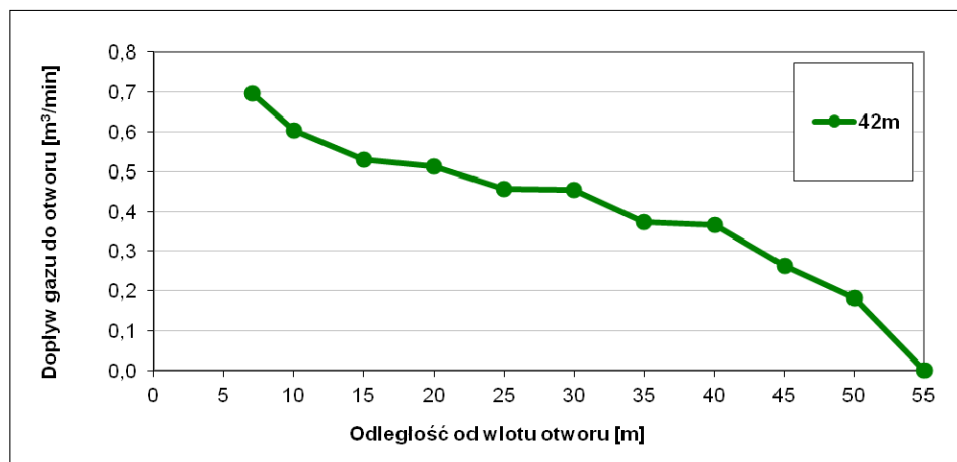
Rys. 9. Charakterystyka miernika natężenia strumienia gazu w otworach odmetanowania

4. Przykładowy wynik pomiaru wykonanego w otworze odmetanowania

Pomiar przeprowadzono w otworze odmetanowania wykonanym z chodnika nadścianowego B-3a KWK „Borynia-Zofiówka” Ruch Zofiówka. Na rys. 10 pokazano rejestrację prędkości dla 10 różnych położeń miernika, w przedziale długości otworu od 7 do 55 m. W punktach pomiarowych sonda była zatrzymywana na około 4 minuty. Pozwalało to na wyeliminowanie wpływu na pomiar stanów nieustalonych związanych z ruchem sondy. Korzystając z charakterystyki uzyskanej w wyniku wzorcowania czujnika skrzydełkowego jako miernika strumienia objętości, i uwzględniając warunki środowiskowe można było określić rzeczywisty strumień objętości metanu na poszczególnych odcinkach otworu drenażowego rys. 11.



Rys. 10. Prędkość przepływu gazu przez miernik w zależności od położenia w otworze odmetanowania



Rys. 11. Dopływ gazu do otworu w funkcji odległości od wlotu

5. Wnioski

Zaproponowana metoda pomiaru strumienia objętości gazu w otworach odmetanowania przy wykorzystaniu nowo opracowanego miernika wykorzystującego anemometryczny czujnik skrzydełkowy, została sprawdzona w warunkach in situ. Skonstruowana sonda pomiarowa umożliwiła przeprowadzenie unikalnych w skali światowej pomiarów w szczególnie trudnych warunkach środowiskowych. Potwierdzono słuszność przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych. W trakcie badań – tak jak przewidywano – pojawiły się problemy środowiskowe. Najbardziej krytyczne związane były ze zjawiskami bardzo szybkiego niekiedy odkształcania się otworów drenażowych lub występowaniem nieciągłości w górotworze.

Wyniki pomiarów, poza rozpoznaniem zjawisk zachodzących w górotworze, przyczynią się do wzrostu bezpieczeństwa załóg kopalń w których występują zagrożenia wynikające z wydzielania się metanu do wyrobisk.

Praca wykonana ze środków: Strategiczny projekt badawczy: Poprawa bezpieczeństwa pracy w kopalniach. Zadanie badawcze nr 4: Poprawa efektywności odmetanowania górotworu w warunkach dużej koncentracji wydobywczy w podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny.

6. Literatura

- Badura H., Berger J., Wala J., 2011: *Analiza wydajności otworów drenażowych systemu odmetanowania w rejonie ściany G-6 w pokładzie 410 w KWK "Zofiówka"*. Wybrane zagrożenia aerologiczne w kopalniach podziemnych i ich zwalczanie. Wydawnictwa AGH. Kraków.
- Filipecki J., Janowicz E., Malina Z., 2006: *Efektywne metody odmetanowania górotworu w warunkach KWK Brzeszcze-Silesia. Ruch I Brzeszcze*. Materiały 4 Szkoły Aerologii Górniczej. Kraków.
- Kruczkowski J. 2008: *Analiza porównawcza danych z przetworników prędkości stosowanych w monitoringu wentylacji kopalń*. Przegląd Górniczy. Katowice.

Method of the gas flow rate measurement for methane drainage wells

Abstract

One of the available methane control strategies in collieries involves the methane extraction from the coal deposit via drain holes. Selection of drain hole parameters is a major determinant of the method's efficiency. Identification of processes affecting the intensity of methane release along the drain hole would allow for effective optimisation of the hole parameters. A reliable method would be required, therefore, for measuring the volumetric flow rate of methane along the entire length of the drain hole. The paper summarises the design of a volumetric flow rate meter intended for experimental measurements in drain holes. Selected results registered in a drain hole are also provided.

Keywords: methane hazard, methane control, methane extraction, volumetric flow rate of methane