

Stacjonarne urządzenie pomiarowe do wyznaczania metanowości bezwzględnej

JANUSZ KRUCZKOWSKI, PRZEMYSŁAW SKOTNICZNY, PIOTR OSTROGÓRSKI

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

Streszczenie

Wyznaczanie bezwzględnej metanowości wentylacyjnej jest istotnym, dla bezpieczeństwa załogi, działaniem służb wentylacyjnych kopalni. Najczęściej stosowana metoda polega na wykorzystaniu danych ze stacjonarnych mierników stężenia metanu lub z prób pipetowych i wyników ręcznego pomiaru wielkości prędkości średniej w przekroju wyrobiska. Metoda obarczona jest dużą i jednocześnie trudną do określenia niepewnością. Stacjonarne urządzenie do pomiaru metanowości bezwzględnej zostało zaprojektowane w celu usprawnienia i poprawy dokładności dotychczasowej metody wyznaczania strumienia objętości metanu. W artykule przedstawiono koncepcję nowatorskiego, stacjonarnego urządzenia pomiarowego będącego połączeniem anemometru skrzydełkowego typu MPP i pelistorowego czujnika stężenia metanu typu SG-2/NW. Rozwiązanie to jest unikalne ze względu na zastosowanie po raz pierwszy quazi-punktowego i współczesowego pomiaru obu wielkości w mierniku stacjonarnym. W ramach numerycznych badań symulacyjnych podjęto próbę wyznaczenia czasu dotarcia mieszanki do komory spalania czujnika metanu i stwierdzono, że mechanizm transportu mieszanki do komory pomiarowej jest dyfuzyjno-adwekcyjny. W artykule poruszono również wybrane problemy związane z pomiarem strumienia objętości metanu poprzez przyrząd wieloczujnikowy.

Słowa kluczowe: wentylacja kopalń, metanowość wentylacyjna, stężenie metanu, metanoanemometr, czujnik metanu, anemometr

1. Wprowadzenie

Metanowość wentylacyjna obok metanonośności stanowią podstawowe, wymagające określenia parametry w procesie prognozowania, a następnie w realizacji bezpiecznego przewietrzania wyrobisk metanowych. Zmierzenie metanowości bezwzględnej, czyli objętościowej ilości metanu wydzielającego się do wyrobiska w jednostce czasu, wymaga pomiaru objętościowego strumienia powietrza i pomiaru stężenia zawartego w nim metanu. Procedura pomiarowa jest złożonym procesem metrologicznym dodatkowo wymagającym zmierzenia geometrii wyrobiska w celu wyznaczenia jego przekroju. Sposób uzyskiwania informacji o wielkościach wymaganych do wyznaczenia metanowości bezwzględnej może być różny w zależności od kopalni i celu jej wyznaczenia. Dane o stężeniu metanu pozyskiwane są najczęściej w wyniku pobierania prób pipetowych lub przez wyznaczanie średniej z wartości zarejestrowanych w określonym czasie przez stacjonarny miernik metanu. Strumień objętości wyznaczany jest na podstawie pomiarów prędkości średniej metodą trawersu ciągłego anemometrem ręcznym i pomiarów geometrii wyrobiska. W przypadku pomiarów geometrii jest to standardowy pomiar wysokości i szerokości wyrobiska. Po pomnożeniu obu wyników przez współczynnik 0,8, otrzymany wynik uznawany jest jako pole przekroju wyrobiska. Wynik końcowy tak przeprowadzonej procedury pomiarowej musi być obarczony dużą niepewnością, która wynika z rozdzielenia pomiarów w czasie i przyjęcia błędnego założenia co do stacjonarności zjawisk przepływowych w wyrobisku kopalni. Innymi istotnymi czynnikami wpływającymi na błąd pomiaru metanowości wentylacyjnej jest sposób pomiaru wartości średniej stężenia metanu i problem braku jednoznacznego zdefiniowania procedur pomiaru prędkości średniej oraz przekroju wyrobiska. Przyjmowany współczynnik 0,8 przy wyznaczaniu pola przekroju jest tylko wielkością przybliżoną, mogąą różnić się ze względu na rodzaj

obudowy ŁP i jej aktualny stan techniczny (odkształcenia), a także kształt spągu. Kolejnym ważnym elementem jest wybór właściwego miejsca wykonywania poszczególnych pomiarów. Z wymienionych wcześniej powodów w ostatnim okresie czasu podjęte zostały próby znalezienia doskonalszych metod wyznaczania metanowości wentylacyjnej (Kruczkowski, 2013; Janus i in., 2013; Kruczkowski i in., 2013).

W Instytucie Mechaniki Górotworu PAN został skonstruowany ręczny przyrząd do pomiaru metanowości wentylacyjnej o nazwie metanoanemometr SOM 2303 (Kruczkowski i in., 2013). Przyrząd jest obecnie na etapie wprowadzania do ruchu w kopalniach JSW i KHW. W oparciu o doświadczenia uzyskane przy jego budowie postanowiono zaprojektować nowe, stacjonarne urządzenie, które może posłużyć do jednoczesnego pomiaru lokalnych wartości stężenia metanu i prędkości przepływu powietrza. Urządzenie pozwoli na kontrolę przepływu powietrza w przestrzeni zabudowy czujnika metanu, uniemożliwiając tym samym jakiejkolwiek świadome lub nieświadome działania mające na celu zakłócenie jego działania. Pozytywne dane pomiarowe uzupełnione o informację o polu przekroju w miejscu zabudowy urządzenia, będą podstawą do ciągłego szacowania metanowości wentylacyjnej. Informacja o wynikach pomiarów będzie przekazywana dwutorowo do użytkowników. Pierwszym torem będzie tor systemu centrali telemetrycznej, a drugim przekaz i wizualizacja wraz z podawaniem informacji o stanach alarmowych, do lokalnego monitora zamontowanego na obudowie wyrobiska. Ze względu na bardzo istotną rolę jaką urządzenie miałoby pełnić w systemie bezpośredniej kontroli bezpieczeństwa wentylacyjnego, istotne jest rozpoznanie zjawisk przepływowych w obszarze pomiarowym w którym umieszczono czujnik prędkości i stężenia metanu. Zastosowano skrzydełkowy czujnik prędkości i pelistorowy czujnik stężenia metanu. Wnikanie metanu do komory pomiarowej czujnika stężenia odbywa się na w oparciu o zjawiska dyfuzyjne. Postanowiono przeprowadzić numeryczną symulację zjawisk przepływowych w obszarze przestrzeni pomiarowej czujnika pelistorowego.

Celem podjętych działań jest obniżenie niepewności wyznaczania bezwzględnego strumienia objętości metanu oraz ograniczenie możliwości celowego oddziaływania na wyniki pomiarów poprzez skonstruowanie i poddanie badaniom w środowiskach rzeczywistym i numerycznym, nowego stacjonarnego urządzenia pomiarowego o nazwie – metanoanemometr stacjonarny.

2. Strumień objętości metanu

Strumień objętości metanu definiowany jest przez objętościową ilość metanu przepływająca przez powierzchnię w jednostce czasu. Dla wyrobisk górniczych powierzchnią przepływową jest przekrój wyrobiska, w którym odbywa się pomiar strumienia. W praktyce górniczej strumień objętościowy metanu wyliczany jako iloczyn prędkości średniej, pola powierzchni i stężenia metanu. Dla konstruktorów przyrządów pomiarowych każda z wymienionych wielkości stanowi trudne zagadnienie metrologiczne, co do sposobu, miejsca pomiaru i metodologii.

Przy założeniu, że stężenie metanu jest jednakowe w całym przekroju jego objętościowy strumień możemy określić z zależności:

$$Q_{VCH_4}(t) = C_{CH_4}(t) \iint_A \vec{v}(x, y, t) \circ d\vec{A} \quad (1)$$

W rzeczywistości stężenie metanu przyjmuje różne wartości w przekroju:

$$Q_{VCH_4xy}(t) = \iint_A C_{CH_4xy}(x, y, t) \cdot \vec{v}(x, y, t) \circ d\vec{A} \quad (2)$$

gdzie:

C_{CH_4xy} – chwilowe stężenie objętościowe metanu dla danego punktu na płaszczyźnie pomiaru,

Q_{VCH_4xy} – chwilowy strumień objętości metanu, wyznaczony w oparciu o znajomość prędkości mieszanki i stężenia objętościowego metanu w każdym punkcie płaszczyzny pomiarowej.

Zrealizowanie pomiaru w oparciu o dzisiejszy stan techniki zgodnie z przedstawioną wyżej zależnością nie jest możliwe.

Projektowany przyrząd może wyliczać strumień objętości metanu korzystając z równania:

$$Q_{VCH_4}(t) = C_{CH_4}(t) \cdot k \cdot v_a(t) \cdot A \quad (3)$$

gdzie:

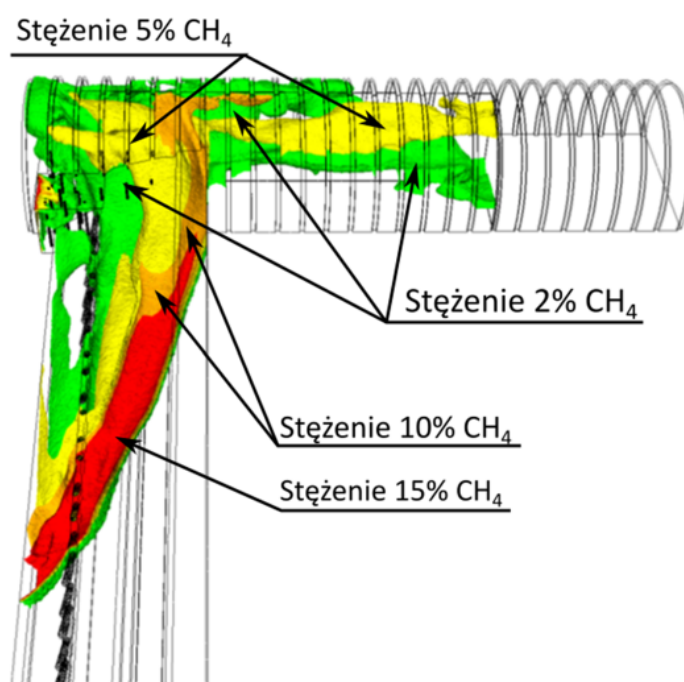
C_{CH_4} – stężenie objętościowe metanu,

- v_a – prędkość powietrza, składowa normalna wektora prędkości do powierzchni A, [m/s],
 k – współczynnik korekcji prędkości,
 A – pole przekroju poprzecznego wyrobiska, [m²].

W równaniu (3) stężenie metanu jest wartością stałą w przestrzeni, co nie jest prawdą, ale pewnym przybliżeniem (Kruczkowski, 2013). Również współczynnik korekcji prędkości wynika z istnienia pola rozkładu wartości prędkości. Zjawisko istnienia rozkładów pól prędkości i stężeń metanu potwierdzają zarówno wyniki pomiarów in situ jak i analizy numeryczne. Na rysunku 1 pokazano rzeczywisty rozkład pola prędkości w wyrobisku przyścianowym KWK Zofiówka, uzyskany w oparciu o SWPPP (System Wielopunktowego Pomiaru Pola Prędkości), a na rysunku 2 uwidoczniiony jest efekt symulacji numerycznej rozkładu pola stężeń metanu w rejonie wylotu ze ściany w KWK Sośnica (Skotniczny, 2014). Obydwa przypadki dotyczą miejsc w których zgodnie z wymaganiami zabudowywane są czujniki prędkości powietrza i stężenia metanu.



Rys. 1. Rozkład prędkości rzeczywistych w chodniku nadścianowym w rejonie wylotu ze ściany. Rejestracja systemem SWPPP

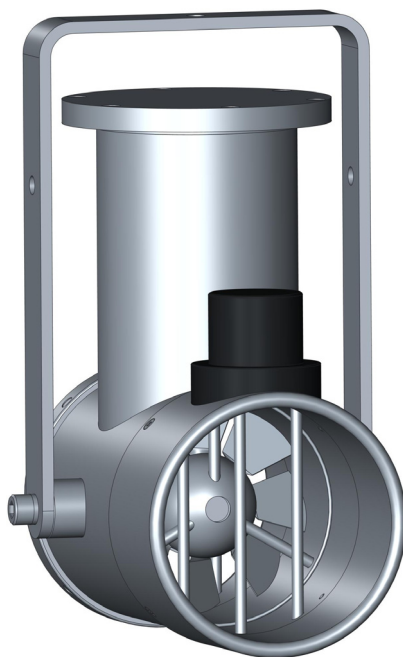


Rys. 2. Analiza numeryczna rozkładu stężeń metanu w rejonie naroża ściany

Przedstawione przypadki pokazują, że głównym problemem w przypadku metod pomiaru strumieni objętościowych (zarówno powietrza jak i metanu), opartych na czujnikach lokalnych, jest znalezienie transformaty wyniku tego pomiaru do rzeczywistej wartości średniej mierzonej wielkości. Stosowanie prostych współczynników korygujących (np. parametru liczbowego) wydaje się być zbyt daleko idącym uproszczeniem. Niezbędne jest zdefiniowanie wieloparametrowych funkcji korygujących o możliwie najlepiej rozpoznanych i zdefiniowanych niepewnościach. Podstawowym założeniem pozostaje przyjęcie niezmienności rozkładu pól prędkości i stężeń. Jednak przy pomocy lokalnego pomiaru stężenia i prędkości nie możemy stwierdzić zmian tych rozkładów.

3. Konstrukcja urządzenia

Konstrukcja metanoanemometru oparta jest o konstrukcję stacjonarnego anemometru skrzydełkowego typu MPP opracowanego w ubiegłych latach w Instytucie Mechaniki Górotworu PAN. Wygląd zewnętrzny urządzenia pokazano na rysunku 3. Główne elementy urządzenia pokazano na rysunku 4. Korpus przyrządu składa się z dwóch prostopadłych, przenikających się wzajemnie elementów rurowych, z których pionowy zawiera układ elektroniczny i zespół przyłączy. Układ elektroniczny został zaprojektowany zgodnie z Dyrektywą nr 2014/34/UE w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej, co pozwala na ewentualne wdrożenie opracowania do zastosowań przemysłowych. Element poziomy stanowi kanał pomiarowy, wewnątrz którego zamocowano skrzydełkowy czujnik prędkości przepływu powietrza. Na zewnątrz kanału pomiarowego znajduje się osłona pelistorowego czujnika stężenia metanu, którego wlot komory pomiarowej skierowany jest do wnętrza kanału pomiarowego. Takie rozwiązanie konstrukcyjne umożliwia quasi-punktowy pomiar obu wielkości i jednocześnie pozwala na kontrolę przepływu mieszaniny powietrzno-metanowej przed czołem komory pelistorowej. Urządzenie w całości wykonano ze stali kwasoodpornej stosując m.in. technologię klejenia.

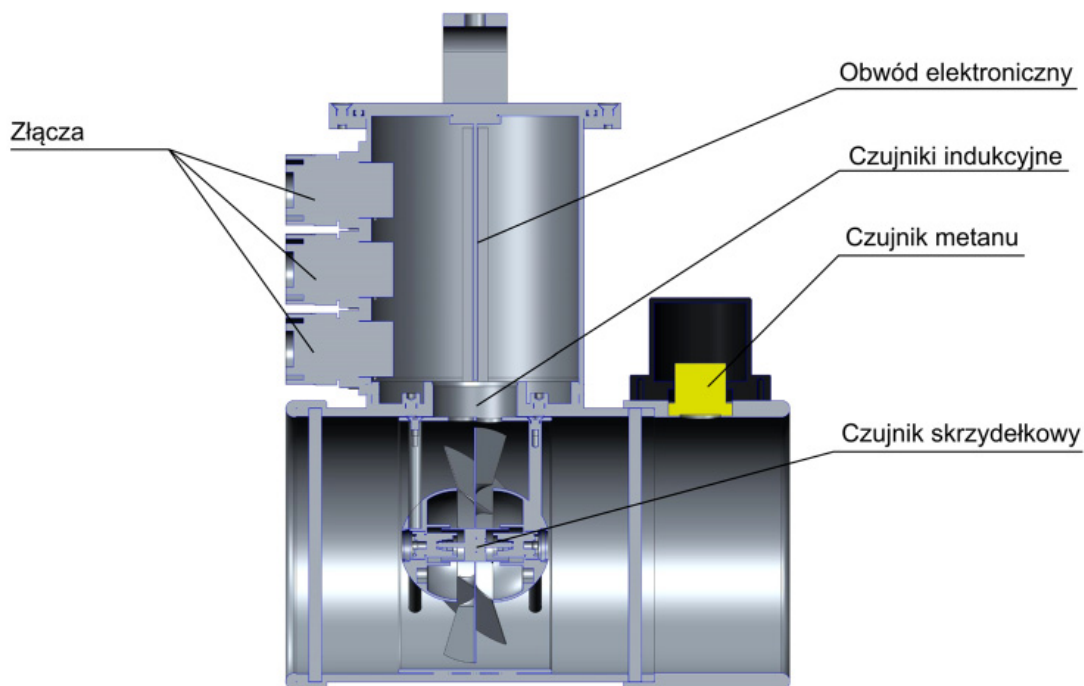


Rys. 3. Metanoanemometr stacjonarny.
Urządzenie do pomiaru bezwzględnej metanowości wentylacyjnej

Podstawowe parametry metrologiczne urządzenia są następujące:

- Zakres pomiarowy prędkości przepływu: $\pm(0,16 \div 20 \text{ m/s})$,
- Błąd pomiaru prędkości przepływu: $\pm(0,5\% \text{ rdg} + 0,02 \text{ m/s})$,
- Zakres pomiarowy stężenia metanu: $0 \div 100\% \text{ V/V}$,
- Błąd pomiaru stężeń metanu: 0,1% dla zakresu $0 \div 2\% \text{ V/V}$, 5% wskazań dla zakresu $2 \div 5\% \text{ V/V}$.

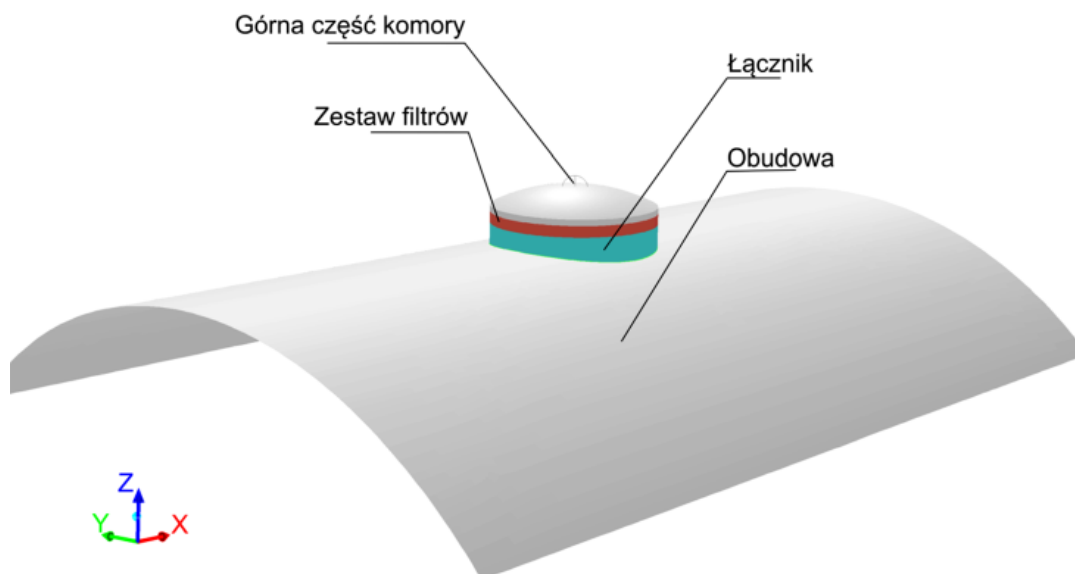
Urządzenie może współpracować z cyfrowymi systemami telemetry kopalnianej lub/i jednocześnie z lokalnym monitorem wyświetlającym dane pomiarowe i sygnalizującym optycznie stany alarmowe.



Rys. 4. Konstrukcja metanoanemometru stacjonarnego

4. Analiza numeryczna zjawisk przepływowych

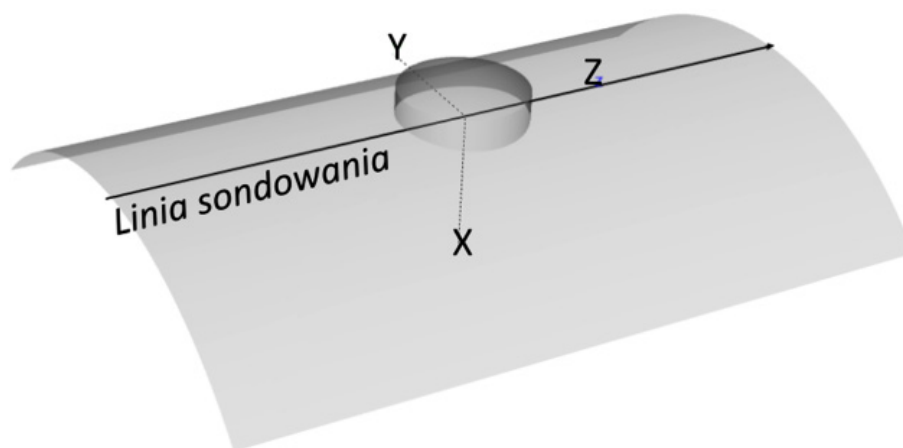
Podczas wzorcowania czujnika metanu zauważono interesujące zjawisko polegające na wpływie wartości średniej prędkości przepływu mieszanki wzorcowej przez komorę pelistorową na wartości wskazań stężenia metanu rejestrowane przez przyrząd. Z tego względu, skoncentrowano się na zbadaniu tego zjawiska na drodze numerycznego wyznaczenia rozkładów prędkości przepływu strugi powietrza przez komorę pomiarową czujnika. Obliczenia zostały przeprowadzone w pakiecie programów do analizy CFD Ansys Fluent. Na podstawie istniejącej dokumentacji przyrządu i komory pelistorowej wykonano geometryczny model numeryczny.



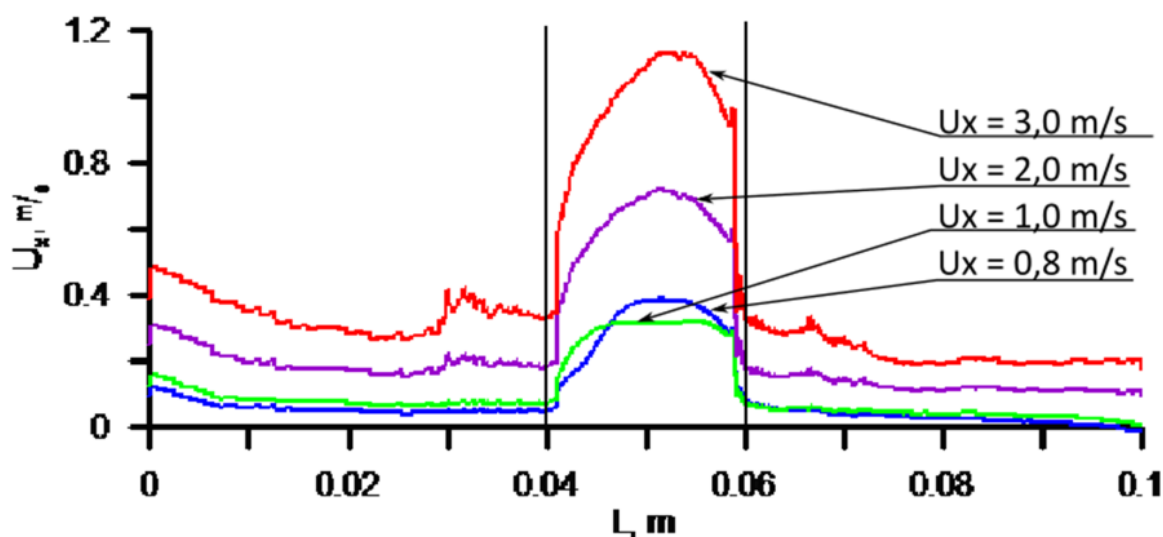
Rys. 5. Model numeryczny fragmentu pierścienia adaptacyjnego z czujnikiem metanu

Pierwszy obszar; podciśnienia o wartości około $PC = -0,2$ Pa zlokalizowany jest bliżej lewej krawędzi komory od strony „napływowej”, z kolei obszar nadciśnienia ($PC = 0,1$ Pa) zlokalizowany jest w pobliżu krawędzi prawej „spływowej”. Dzięki tak zróżnicowanemu polu ciśnień charakteryzującym się wyraźnym gradientem w kierunku przeciwnym z ruchem powietrza w przestrzeni nakładki, w obszarze łącznika oraz filtrów tworzy się wyraźne zawirowanie rotujące w kierunku przeciwnym do ruchu powietrza w przestrzeni nakładki.

Złożony oraz w pełni trójwymiarowy charakter zjawiska jest dobrze widoczny na rysunkach 9, 10, 11 przedstawiających rozkład wartości składowych wektora prędkości przedstawionych dla linii sondowania umieszczonej w płaszczyźnie przekroju poprzecznego czujnika metanu, w odległości 1 mm od górnej krawędzi w osi X zgodnie z Rys. 8. Linia sondowania poprowadzona jest w taki sposób, że obszar wlotowy łącznika jest usytuowany równoległe do osi nakładki.

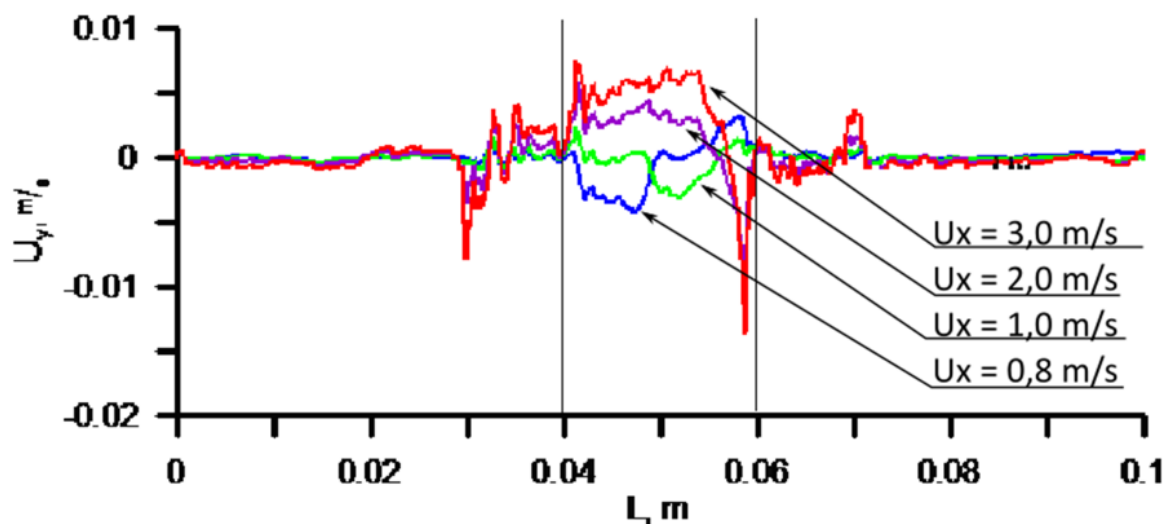
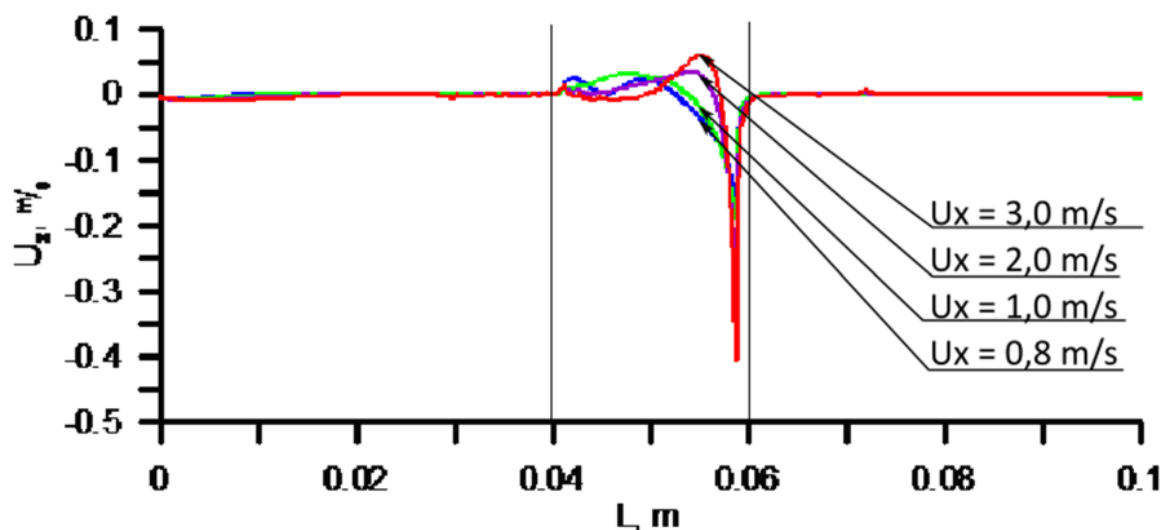


Rys. 8. Umiejscowienie linii sondowania w przestrzeni nakładki



Rys. 9. Rozkład składowej U_x wektora prędkości na linii sondowania

Na rysunkach 9, 10, 11 liniami pionowymi zaznaczono początek oraz koniec obszaru łącznika. Analizując rozkłady poszczególnych składowych wektora prędkości można zauważyć gwałtowną zmianę wartości składowej U_x w obszarze napływowym łącznika, która jest spowodowana zmianą warunków przepływowych (ściana nakładki – przestrzeń wlotowa łącznika). Zmiana wartości U_x dotyczy każdej z przebadanych wartości prędkości wlotowej do łącznika U . Wraz ze wzrostem wartości prędkości U następuje wzrost prędkości średniej U_x w przestrzeni wlotowej łącznika. Wyjątkiem jest rozkład U_x dla prędkości $U = 0,8$ m/s, dla której wartość U_x , szczególnie w środku obszaru wlotowego łącznika jest wyższa niż dla prędkości $U = 1$ m/s. Najprawdopodobniej jest to spowodowane specyficznym rozkładem w tym obszarze

Rys. 10. Rozkład składowej U_y wektora prędkości na linii sondowaniaRys. 11. Rozkład składowej U_z wektora prędkości na linii sondowania

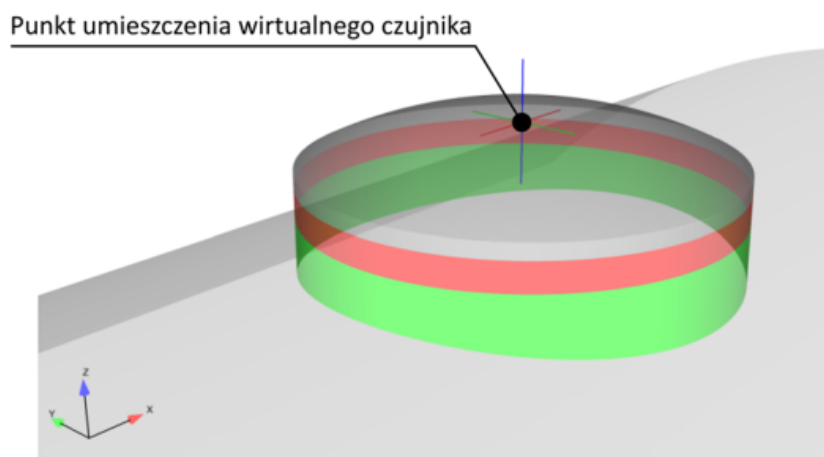
wartości składowej U_y (rys. 10). Składowa U_y dla prędkości $u = 0,8$ m/s posiada większe wartości oraz jest w przeciw fazie w stosunku do wartości tej składowej dla przypadku $U = 1$ m/s, co z kolei wskazuje na zwiększoną intensywność transportu masy w kierunku prostopadłym do płaszczyzny przekroju, w którym została umieszczona linia sondowania.

Z wykresów zamieszczonych na Rys. 9 jak również Rys. 10 można wywnioskować, że zasięg oddziaływania łącznika jest znacznie rozleglejszy i nie ogranicza się tylko do jego przekroju wlotowego. Wzrosty wartości składowych U_x i U_y w odległościach odpowiednio 10 i 15 mm od krawędzi łącznika związane są ze zmianą pędu strugi powietrza w przekroju wlotowym łącznika.

Z kolei rozkład składowej U_z , zamieszczony na Rys. 11 wskazuje na intensywną wymianę masy w kierunku prostopadłym do osi nakładki szczególnie w obszarze spływowym łącznika, który dla prędkości $U = 3$ m/s osiąga maksymalną wartość $U_z = -0,45$ m/s. Brak wyraźnych fluktuacji w obrazie rozkładów U_z w obszarach przed i za obszarem wlotowym łącznika wynika z obecności ściany, która tłumi ruch powietrza w tym kierunku.

Podczas obliczeń numerycznych sprawdzono również wartość prędkości w punkcie leżącym wewnątrz komory, w odległości 1 mm nad zestawem czujników pelistorowych (Rys. 12).

Dla tak zdefiniowanego „czujnika wirtualnego” sporządzono wykres przedstawiający zależność prędkości nad zestawem pelistorów U_p od prędkości przepływu strugi powietrza w przestrzeni nakładki.

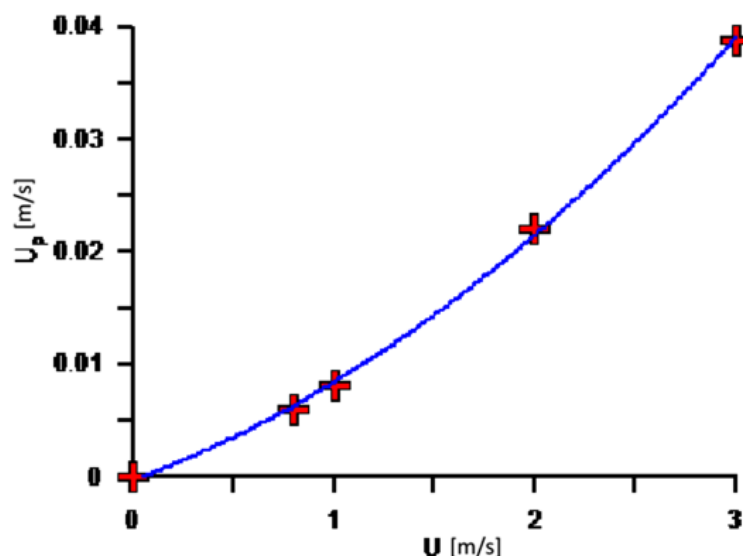


Rys. 12. Wirtualny czujnik w przestrzeni komory pelistorowej

Wartości będące wynikiem obliczeń numerycznych w punkcie położenia czujnika wirtualnego zaznaczone są na rysunku 13 krzyżykami.

Funkcja opisująca ten rozkład przedstawia następujące równanie:

$$U_p(U) = -0,000233 + 0,0065U + 0,0022U^2 \quad (4)$$

Rys. 13. Zmiana wartości prędkości U_p w zależności od wartości prędkości U

5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono koncepcję nowego stacjonarnego urządzenia pomiarowego o nazwie metananemometr stacjonarny, pozwalającego na jednoczesny lokalny pomiar stężenia metanu i prędkości przepływu.

Konstrukcja urządzenia i algorytmy programowe będą ograniczać możliwości celowego lub nieumyślnego wpływania na dane pomiarowe.

Urządzenie umożliwia dostęp do danych pomiarowych nie tylko dla dyspozytora, ale także w miejscu zabudowy dzięki zastosowaniu lokalnego monitora z wbudowanym, optycznym systemem ostrzegania.

Celem zasadniczym prowadzonych badań jest umożliwienie wykorzystania metananemometru stacjonarnego do wyznaczania bezwzględnej metanowości wentylacyjnej. Z tego powodu przewiduje się prowadzenie badań w warunkach in situ mających na celu zdefiniowanie procedur pozwalających na wykonywanie adjustacji urządzenia w miejscu jego zabudowy.

Ze względu na całkowicie nowatorski charakter opracowania niezbędne jest przeprowadzenie szeregu symulacji numerycznych mających na celu sprawdzenie przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych i ich wpływ na wyniki pomiaru, co dotyczy w szczególności czujnika metanu.

W artykule zamieszczono wyniki analiz numerycznych wymiany masy pomiędzy komorą pelistorową umieszczoną równolegle do osi przepływu strugi powietrza w przestrzeni nakładki. Wstępny charakter prac umożliwia wskazanie pewnych charakterystycznych zjawisk przepływowych mających miejsce podczas przepływu powietrza w omawianej geometrii.

Przedstawione wyniki obliczeń numerycznych wskazują na możliwość występowania korelacji pomiędzy prędkością podawania mieszanki wzorcowej, a wskazaniami metanomierza. Przemawia za tym fakt występowania zależności funkcyjnej pomiędzy prędkością strumienia powietrza w przestrzeni nakładki, a prędkością zarejestrowaną przez czujnik wirtualny.

Pomimo niskich wartości prędkości U_p wahających się w granicach 10^{-2} m/s istnieje prawdopodobieństwo interakcji prędkości U_p z prędkościami mieszaniny powietrzno-metanowej spowodowanymi występowaniem prądów konwekcyjnych tworzących się podczas normalnej pracy metanomierza. Rozwój, propagacja oraz ewentualna interakcja prądów konwekcyjnych jest zagadnieniem odrębnym, wymagającym dalszej pracy badawczej.

Dalsze badania urządzenia należy kontynuować w warunkach laboratoryjnych, a następnie w środowisku kopalnianym.

Praca została wykonana w roku 2015 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- Skotniczny P., 2014: *Stany przejściowe w przepływie mieszaniny powietrzno-metanowej na wylocie ze ściany wywołane nagłym wypływem metanu*. Archives of Mining Science, Vol. 59, No 4, p. .
- Kruczkowski J., 2013: *Rozkłady stężeń metanu w wyrobiskach przyscianowych*. Zagrożenia aerologiczne w kopalniach węgla kamiennego – profilaktyka, zwalczanie, modelowanie, monitoring. Główny Instytut Górnictwa. Katowice.
- Kruczkowski J., 2013: *Wyznaczanie metanowości wentylacyjnej przy pomocy nowej techniki pomiarowej*. Materiały 7 Szkoły Aerologii Górniczej, Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii, Instytut Eksploatacji Złóż, Gliwice.
- Janus J., Krawczyk J., Kruczkowski J., Ostrogórski P., 2012: *Nowe rozwiązania urządzeń do pomiaru pól prędkości i rozkładów stężenia metanu oraz wyniki badań porównawczych*. Prace Instytutu Mechaniki Górniczej PAN, T. 14, Nr. 1-4, p. 149-163.
- Kruczkowski J., Ostrogórski P., 2013: *Urządzenie do pomiaru prędkości przepływu powietrza i stężenia metanu w wyrobisku kopalni*. Prace Instytutu Mechaniki Górniczej PAN, T. 15, Nr. 1-2, p. 23-30.
- Dziurzyński W., Kruczkowski J., Wasilewski S., 2012: *Nowoczesna metoda badania przepływu powietrza i metanu w wyrobisku kopalni*. Nowe spojrzenie na wybrane zagrożenia naturalne w kopalniach, Główny Instytut Górnictwa, Katowice.

Stationary measuring instrument to determine the absolute methane content

Abstract

Measurement of absolute methane content is significant for miners safety. The most used measuring method is measurement based on data from stationary methane detectors or pipette analyses and multiply by air velocity measured by vane anemometer in traverse method. This method is difficult to determine the uncertainty. Stationary measuring instrument to determine the absolute methane content is designed to improve method efficiency and accuracy, which is heretofore used. The article presents conception of innovatory measuring device which is connection of vane anemometer, type MPP and pellistor methane sensor, type SG-2/NW. This outcome is unique, because the first time apply quasi-pointed and simultaneous measurement of both entities in one stationary instrument. Within the numerical simulations (CFD) the authors investigated time needed for movement methane mixture to combustion chamber of methane sensor. Observed that mechanism of transport mixture to measurement chamber is diffusive-advective. The article consists of issues about measuring methane flow rate by multi-sensor device.

Keywords: mine ventilation, absolute methane content, methane concentrate, methane-anemometer, methane sensor, vane anemometer