

Sposób quasi-ciągłego pomiaru średniej prędkości powietrza w kanale wentylacyjnym o dużym przekroju poprzecznym

Sposób quasi-ciągłego pomiaru średniej prędkości powietrza w kanale wentylacyjnym o dużym przekroju poprzecznym, mający zastosowanie zwłaszcza do pomiarów w prostokątnych kanałach wentylacyjnych wentylatorów głównego przewietrzania w kopalniach podziemnych, znajdujących się po stronie ssącej tych wentylatorów.

Prędkość powietrza, uśredniona dla przekroju poprzecznego kanału wentylacyjnego stanowi podstawę do wyznaczania strumienia objętościowego przepływu – jednego z najbardziej istotnych parametrów sieci wentylacyjnej. W przypadku laminarnego przepływu o znanym profilu prędkości, zwłaszcza w kanałach o mniejszych wymiarach, pomiar średniej prędkości może być realizowany za pomocą pojedynczej sondy ciśnienia dynamicznego umiejscowionej w punkcie przekroju, w którym prędkość osiąga wartość średnią.

Przy turbulentnym charakterze przepływu powietrza, jaki ma miejsce w dużych kanałach wentylacyjnych np. w pobliżu wentylatorów głównego przewietrzania w kopalniach podziemnych, zarówno wartości, jak i rozkład prędkości w przekroju zmieniają się w sposób bardzo dynamiczny. Zaburzenia równomiernego przepływu powietrza wynikają m.in. z budowy i zasady działania wentylatorów o dużych średnicach wirników, wywołujących przepływ pulsacyjny. Zmienność pola prędkości i strumienia objętości w wyrobiskach górniczych jest znana między innymi z publikacji pt.: „*Zmienność pola prędkości i strumienia objętości powietrza w wyrobiskach kopalń głębinowych*” (Krach A. i inni, Archiwum Górnictwa, Monografia, Nr 1, 2006).

Znany jest wielopunktowy pomiar prędkości powietrza. Przykładowo, w publikacji P. Ostrogórskiego pt.: „*Detekcja nagłych zmian w przebiegu strumienia objętości mierzonego przy użyciu Systemu Wielopunktowego Pomiaru Pola Prędkości*” (Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, 2013,

Tom 18, nr 4, s. 57-61) omówiono wielopunktowy pomiar prędkości powietrza w wyrobiskach górniczych. W opisanych badaniach wykorzystano dane pomiarowe pochodzące z eksperymentów wykonywanych w chodnikach kopalnianych, pochodzące z 16 anemometrów rozmieszczonych na 4 kolumnach w taki sposób, że kolumny dzieliły szerokość wyrobiska na 5 możliwie równych odcinków. Na każdej kolumnie znajdowały się 4 anemometry. Z punktowych pomiarów prędkości powietrza wyliczany był następnie chwilowy strumień objętości powietrza przepływającego przez wyrobisko. Również metoda opisana w artykule J. Kruczkowskiego, pt.: „Analiza danych pomiarowych uzyskanych z anemometrycznych czujników stacjonarnych i przenośnych” (*Prace Instytutu Mechaniki Górniczej PAN Tom 8, nr 1-4, Kraków 2006, s. 93-104*) polega na dyskretyzacji przekroju poprzecznego wyrobiska i utworzeniu wielopunktowej matrycy czujników anemometrycznych w przekroju wyrobiska.

Powszechnie znane są metody pomiaru ciśnienia za pomocą rurki/sondy Prandtla. Do króćca rurki wewnętrznej podłącza się przewód hydrauliczny, na którego końcu mierzy się ciśnienie całkowite, natomiast do króćca rurki zewnętrznej podłącza się przewód hydrauliczny, na którego końcu mierzy się ciśnienie statyczne i na podstawie różnicy ciśnienia całkowitego i statycznego oblicza się ciśnienie dynamiczne. Wartość ciśnienia dynamicznego w punkcie pomiarowym służy do obliczenia prędkości przepływu. Możliwe i znane jest również podłączenie końców obu przewodów hydraulicznych i bezpośredni pomiar ciśnienia dynamicznego, zwanego ciśnieniem różnicowym za pomocą przetwornika różnicowego. Z polskiego opisu patentowego PL228663B1 znany jest miernik strumienia gazu w zamkniętych kanałach o dużej powierzchni przekroju, który charakteryzuje się tym, że jest zaopatrzony w normalizator przepływu. W ścianie kanału zabudowany jest króciec z blokadą położenia, ustalającą położenie przesuwne, punktowego przepływomierza, którym może być np. rurka Prandtla lub termooanemometr, połączone za pomocą przewodu sygnałowego z przetwornikiem ciśnienia.

Celem wynalazku jest opracowanie sposobu realizacji, ciągłego w czasie pomiaru prędkości średniej powietrza w kanale wentylacyjnym o dużym przekroju poprzecznym, w warunkach występującej pulsacji powietrza, spowodowanej pracą wentylatora, z uwzględnieniem parametrów termodynamicznych, mających wpływ na gęstość powietrza czasie pomiaru.

Istota sposobu quasi-ciągłego pomiaru średniej prędkości powietrza w kanale wentylacyjnym o dużym przekroju poprzecznym, realizowanego w taki sposób, że we wnętrzu kanału wentylacyjnego o znanym kształcie i wymiarach przekroju poprzecznego, za pomocą sieci sond, które stanowią rurki spiętrzające usytuowane w przekroju kanału wentylacyjnego, w stałych punktach przekroju dokonuje się próbkowania wielkości ciśnienia całkowitego i ciśnienia statycznego, a ponadto dokonuje się pomiaru temperatury przepływającego powietrza oraz jego wilgotności, zaś na zewnątrz kanału wentylacyjnego dokonuje się pomiaru ciśnienia atmosferycznego i na podstawie zmierzonych wartości oblicza się chwilowe wartości prędkości średniej w przekroju poprzecznym kanału, wykorzystując znane zależności, wynikające z równania energii przepływającego płynu, polega na tym, że pomiaru ciśnienia całkowitego p_c dokonuje się w zbiorczym przewodzie ciśnienia całkowitego, do którego poprzez kolektor zbiorczy, przyłączone są przewody ciśnienia całkowitego, wyprowadzone z króćców ciśnienia całkowitego rurek spiętrzających, zaś pomiaru ciśnienia statycznego p_s , dokonuje się w zbiorczym przewodzie ciśnienia statycznego, do którego poprzez kolektor zbiorczy, przyłączone są przewody ciśnienia statycznego z króćców ciśnienia statycznego rurek spiętrzających, zabudowanych w kanale wentylacyjnym.

Korzystnym jest gdy rozkład punktów pomiarowych w kanale o przekroju prostokątnym, ustala się w oparciu o metodę podziału przekroju na pola elementarne o równych powierzchniach, przy czym minimalna wielkość siatki punktów pomiarowych wynosi 5x5, zaś pomiaru ciśnienia dokonuje się w środku geometrycznym pól elementarnych.

W przypadku kanału wentylacyjnego o przekroju okrągłym, korzystnym jest, gdy rozkład punktów pomiarowych na dwóch wzajemnie prostopadłych osiach tego przekroju ustala się w oparciu o metodę Log-Czebyszewa, a minimalna ilość punktów pomiarowych na każdej z tych osi wynosi 6.

Praktyczna realizacja sposobu według wynalazku została bliżej objaśniona w przykładzie wykonania, a także zilustrowana na schematycznym rysunku, przedstawiającym układ urządzeń realizujących ten sposób.

Przykład. W celu realizacji sposobu ciągłego pomiaru strumienia objętościowego powietrza w kanale wentylacyjnym o przekroju prostokątnym, przekrój ten podzielono na 25 elementarnych pól prostokątnych o jednakowym polu powierzchni. W środku każdego elementarnego pola zainstalowano rurkę spiętrzającą, którą stanowi rurka Prandtla C_1, C_2, \dots, C_n . Króćce ciśnienia całkowitego rurek Prandtla C_1, C_2, \dots, C_n połączono za pomocą przewodów ciśnienia całkowitego A z kolektorem zbiorczym 4, znajdującym się na zewnątrz kanału wentylacyjnego 1, a króćce ciśnienia statycznego rurek Prandtla C_1, C_2, \dots, C_n połączono za pomocą przewodów ciśnienia statycznego E z kolektorem zbiorczym 5, znajdującym się na zewnątrz kanału wentylacyjnego 1. Kolektor zbiorczy 4 połączono za pomocą zbiorczego przewodu ciśnienia całkowitego B z przetwornikiem ciśnienia całkowitego 6. Do różnicowego przetwornika ciśnienia dynamicznego 7 podłączono zbiorczy przewód ciśnienia statycznego F, wyprowadzony z kolektora zbiorczego 5 oraz gałąź zbiorczego przewodu ciśnienia całkowitego B. Przetwornik ciśnienia całkowitego 6 oraz różnicowy przetwornik ciśnienia dynamicznego 7 umieszczono w szafce 8, usytuowanej na zewnątrz kanału wentylacyjnego 1 i połączono za pomocą przewodu sygnałowego z koncentratorem danych 10.

Ponadto, we wnętrzu kanału wentylacyjnego 1 zainstalowano sondę pomiaru temperatury 2, mierzącą temperaturę powietrza t oraz sondę pomiaru wilgotności 3, dokonującą pomiar wilgotności powietrza φ , które połączono za pomocą przewodu sygnałowego z koncentratorem danych 10 poprzez przetwornik sygnałów 11, do którego za pomocą przewodu sygnałowego

połączona również barometr 9, realizujący pomiar ciśnienia atmosferycznego p_{at} . Koncentrator danych 10 połączono sygnałowo w sposób przewodowy z komputerem 12, za pomocą którego dokonywano archiwizacji, obliczeń i wizualizacji wyników realizowanych z zadaną częstotliwością próbkowania.

Dla przykładowego pojedynczego pomiaru w kanale wentylacyjnym 1 o polu przekroju poprzecznego $F=10\text{m}^2$, w tym samym czasie zmierzono:

- ciśnienie całkowite $p_c = 1800$ Pa, w przewodzie zbiorczym ciśnienia całkowitego B,
- dynamiczne $p_d = 200$ Pa, jako różnica ciśnień w przewodzie zbiorczym ciśnienia całkowitego B oraz w przewodzie zbiorczym ciśnienia statycznego F
- ciśnienie atmosferyczne $p_{at}=100000$ Pa,
- zmierzono temperaturę powietrza $t= 28^0\text{C}$,
- wilgotność względną powietrza $\varphi = 90\%$.

Następnie dokonano obliczeń:

- ciśnienia bezwzględnego w kanale $p_{atK} = p_{at}-p_c-p_d= 98000$ Pa,
- gęstości powietrza w kanale $\rho = 1,115$ kg/m^3 , na podstawie zależności:

$$\rho = \frac{0,0034843 \cdot p_{atK} - 0,80441 \left(\frac{\varphi}{100}\right) \exp\left(\frac{17,27 \cdot t}{237,3+t}\right)}{274,15 + t}$$

- prędkości powietrza w kanale $v=18,94$ m/s, na podstawie zależności:

$$v = \alpha \varepsilon \sqrt{\frac{2 \cdot p_d}{\rho}}$$

gdzie:

α – współczynnik wzorcowania rurki Prandtla, zazwyczaj przyjmowany w obliczeniach jako 1;

ε - współczynnik poprawkowy ze względu na ściśliwość powietrza, $\varepsilon=0,9998$ wyznaczany ze wzoru:

$$\varepsilon = \left[1 - \frac{1}{2\kappa} \frac{p_d}{p} + \frac{\kappa - 1}{6\kappa^2} \left(\frac{p_d}{p_{atK}}\right)^2 \right]^{1/2}$$

gdzie

κ – wykładnik izentropy, dla powietrza przyjmowany jako 1,4;

p_d – ciśnienie różnicowe wskazane przez rurkę Prandtla;

p_{atK} – ciśnienie bezwzględne w kanale;

W warunkach technicznych kanałów wentylacyjnych o dużych przekrojach współczynnik poprawkowy ze względu na ściśliwość powietrza dla liczb Macha poniżej 0,1 można przyjmować $\varepsilon=1$.

Ostatecznie, obliczono wydatek objętościowy: $\dot{V}=189,4 \text{ m}^3/s$, na podstawie zależności:

$$\dot{V} = v \cdot F$$

Analogiczne pomiary i obliczenia realizuje się z zadaną częstością próbkowania. Uzyskane w ten sposób wyniki zmian prędkości powietrza w czasie mogą być podstawą analizy zmian ilości powietrza odprowadzanego z kopalni.

W odmiennych przykładach realizacji sposobu według wynalazku, możliwe jest stosowanie innych rodzajów rurek spiętrzających. Dla kanału o przekroju okrągłym, rozkład punktów pomiarowych ustalony został w oparciu o metodę Log-Czebyszewa na dwóch wzajemnie prostopadłych osiach kanału wentylacyjnego o przekroju okrągłym. Dla każdej osi przyjęto 6 punktów pomiarowych, w których usytuowano rurki spiętrzające.

Dzięki pomiarom wykonanym na końcach zbiorczego przewodu ciśnienia całkowitego B oraz zbiorczego przewodu ciśnienia statycznego F, rejestrowane wartości prędkości średniej powietrza są mniej wrażliwe na chwilowe zmiany wynikające z pulsacyjnej pracy wentylatora. Sposób według wynalazku pozwala na dokładniejsze wyznaczanie rzeczywistej ilości powietrza odprowadzanego z kopalni w stosunku do aktualnych metod.

ZGŁASZAJĄCY:

PEŁNOMOCNIK:

Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica
w Krakowie

Robert Klisowski
rzecznik patentowy