

Sposób wielopunktowego sprawdzania anemometrów skrzydełkowych w rzeczywistych warunkach ich pacy

PRZEMYSŁAW SKOTNICZNY, PAWEŁ JAMRÓZ

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

Streszczenie

Analizy stanu wentylacji kopalń przeprowadzane są na podstawie wyników uzyskiwanych w trakcie pomiarów wykonywanych różnymi przyrządami pomiarowymi (Roszczyniański i in., 1999). W grupie takich przyrządów w szczególny sposób wyróżnić można anemometry skrzydełkowe, za pośrednictwem których wskazania możliwe jest określenie parametrów przewietrzania związanych z bezpieczeństwem pracy w wyrobiskach górniczych (Kruczkowski, 2008). Przyrządy te znajdują się zatem w grupie która powinna być regularnie sprawdzana pod kątem ich metrologicznej wiarygodności. Obecnie sprawdzenia anemometrów zabudowanych w wyrobiskach kopalnianych dokonywane są sporadycznie lub nie wykonywane są wcale. Związane jest to z brakiem odpowiednich procedur i metod, według których sprawdzenia takie mogłyby być wykonane. W niniejszym artykule zaproponowano metodę wykonania takich sprawdzeń, w oparciu o zastosowanie kryz dławiających przepływ, wraz z którymi dany przyrząd został wcześniej wywzorcowany. Metoda ta pozwala na wykonanie testu wiarygodności wskazania anemometru skrzydełkowego w wielu punktach pomiarowych umożliwiając zdobycie informacji na temat charakterystyki przetwarzania danego przyrządu pomiarowego.

Słowa kluczowe: anemometr skrzydełkowy, charakterystyka przetwarzania, sprawdzenie wiarygodności metrologicznej

1. Wstęp

W trakcie użytkowania przyrządów pomiarowych, pod wpływem szeregu czynników mogą nastąpić zmiany w ich charakterystyce przetwarzania. Związane jest to ze wskazywaniem przez dany przyrząd nieprawidłowych danych pomiarowych, które to mogą posiadać znaczny wpływ na obniżenie poziomu bezpieczeństwa prowadzonych prac wydobywczych. Istnieje wiele czynników pod wpływem których charakterystyki przyrządów pomiarowych mogą się zmieniać (Dziurzyński i in., 2013). Należą do nich między innymi:

- dryft czasowy,
- warunki klimatyczne – temperatura, wilgotność, zapylenie,
- warunki użytkowania – transport urządzeń, drgania,
- częstotliwość i intensywność użytkowania,
- wykorzystywane zakresy pomiarowe, przekroczenia.

Wiarygodność wskazań przyrządów potwierdzana jest w ramach cyklicznych wzorcowań przyrządów pomiarowych, w przypadku anemometrów ręcznych wykonywanych zwyczajowo w okresie jednego roku. W przypadku anemometrów stacjonarnych, instalowanych w wyrobiskach górniczych, chodnikach wentylacyjnych itd. wzorcowania takich przyrządów odbywają się niezwykle rzadko, a w przypadku wielu urządzeń nie odbywają się w ogóle. Istnieje zatem problem oceny, czy przyrząd pomiarowy działa właściwie. W niektórych zakładach wydobywczych, w celu sprawdzenia działania przyrządu anemometrycznego wykonuje się test „zera” polegający na mechanicznym zatrzymaniu obracających się skrzydełek anemometru lub zablokowania przepływu powietrza i sprawdzeniu wskazania zerowego anemometru. Przeprowadzanie takiej próby jest niewystarczające, gdyż na jej podstawie nie można powiedzieć nic o charakterystyce przy-

rzędu pomiarowego. Test taki nie daje żadnych informacji o tym czy istnieją podstawy do zakwestionowania wskazań przyrządu w warunkach jego pracy, a więc w przypadku, kiedy przyrząd dokonuje pomiaru niezerowych wartości prędkości przepływu. Ponadto często w wyniku ręcznego, mechanicznego zatrzymania wirnika anemometru dochodzi do uszkodzeń skrzydełek które to powodują zmiany w charakterystyce przyrządu pomiarowego.

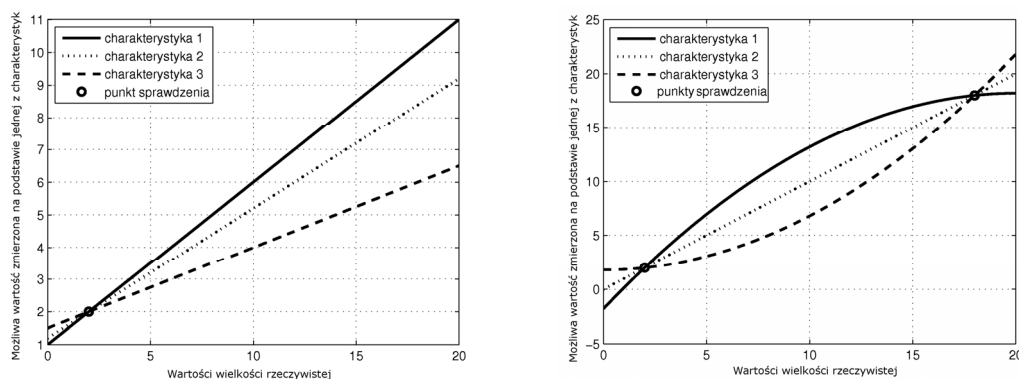
W celu oceny działania przyrządu i detekcji ewentualnych odchyłeń w stosunku do charakterystyki wzorcowej anemometru koniecznym jest sprawdzenie działania urządzenia w większej ilości punktów pomiarowych. Przeprowadzenie częstych wzorcowań w warunkach pracy anemometru stacjonarnego nie jest możliwe, istnieje zatem potrzeba określenia innej metody sprawdzenia wiarygodności uzyskiwanych wyników pomiarowych z wykorzystaniem takich przyrządów.

2. Sprawdzenie przyrządu pomiarowego

Jedyną metodą określenia i potwierdzenia właściwości metrologicznych przyrządów pomiarowych jest wzorcowanie. Metoda ta polega na porównaniu wskazań przyrządu wzorcowanego z wzorcem odniesienia w jak największej ilości punktów pomiarowych, w celu dokładnego określenia charakterystyki urządzenia pomiarowego (wartości wskazywanych w odniesieniu do wartości zadanych oraz kształtu charakterystyki) (ISO/IEC Guide 99:2007).

W wielu przypadkach nie jest możliwe przeprowadzenie częstych wzorcowań przyrządów pomiarowych, pomimo ich pracy w trudnych warunkach, wskazujących na taką konieczność. Przykładem może być tutaj anemometr stacjonarny zabudowany w rejonie ściany. W związku z tym należy opracować metodę sprawdzania przyrządów pomiarowych, która pozwoli określić czy w okresie pomiędzy kolejnymi wzorcowaniami, dane urządzenie pomiarowe nie wykazuje cech wskazujących na wadliwe działanie na skutek zmiany jego charakterystyki. Sprawdzenie takie musi następować w oparciu o metodę porównania z wiarygodnym urządzeniem, którego właściwości metrologiczne zostały wcześniej potwierdzone wzorcowaniem, a okres od ostatniego wzorcowania nie przekroczył zakładanego czasu, w którym uznaje się wskazania przyrządu za wiarygodne z określoną niepewnością. Dokonanie poprawnego sprawdzenia przyrządu pomiarowego wymaga zatem sprawdzenia jego wskazań w odniesieniu do znanej wartości mierzonej określonej z niepewnością wynikającą z właściwości zastosowanego przyrządu sprawdzającego i specyfiki pomiaru w jak największej ilości punktów w możliwie jak najszerszym zakresie jego działania.

Na rysunku 1 przedstawiono możliwe przebiegi charakterystyk przyrządu pomiarowego w zależności od ilości punktów, w których dokonuje się sprawdzenia. Zastosowanie sprawdzenia w jednym punkcie pomiarowym nie daje żadnych informacji mówiących o kształcie i przebiegu charakterystyki przyrządu pomiarowego. Zwiększanie ilości punktów pomiarowych prowadzi do uzyskania wiarygodniejszych informacji dotyczących kształtu charakterystyki przetwarzania przyrządu pomiarowego. Na podstawie analizy wyników szeregu różnych anemometrów skrzydełkowych można założyć, że wykonanie sprawdzenia takiego przyrządu przynajmniej w trzech punktach pomiarowych daje możliwość wnioskowania nie tylko o własnościach metrologicznych przyrządu sprawdzanego w określonych punktach pomiarowych ale także pozwala na uzyskanie informacji dotyczących przybliżonego kształtu charakterystyki przyrządu.



Rys. 1. Możliwe przebiegi charakterystyk przyrządu pomiarowego w zależności od ilości punktów, w których wykonano sprawdzenie

W oparciu o uzyskane informacje na drodze sprawdzenia przyrządu i informacje pochodzące z jego wcześniejszych wzorcowań można dokonać przybliżonej oceny poprawności jego wskazań oraz na podstawie przyjętego kryterium podjąć decyzję o konieczności przeprowadzenia działań naprawczych (naprawa, adjustacja, wzorcowanie).

3. Zastosowanie kryzy w sprawdzaniu właściwości metrologicznych anemometrów

Sprawdzenie anemometru w kilku punktach pomiarowych w warunkach dołowych jest utrudnione z uwagi na brak możliwości wytworzenia przepływu o różnych wartościach prędkości. W celu sprawdzenia takiego przyrządu jedyną możliwością jest wykorzystanie przepływu występującego w miejscu jego montażu. Jedyną możliwością zmiany wartości prędkości przepływu strugi powietrza jest tłumienie przepływu. W tym celu można posłużyć się specjalnie zaprojektowaną kryzą pomiarową, którą na czas sprawdzania należy zmniejszyć pole przekroju wlotowego kontrolowanego anemometru skrzydełkowego. U podstawy pomiaru z zastosowaniem kryzy, którą można nazwać walidacyjną leży prosty związek znany pod nazwą równania ciągłości strugi. W najprostszej, przydatnej w omawianym przypadku postaci związek ów można zapisać równaniem (1)

$$u_1 A_1 = u_2 A_2 \quad (1)$$

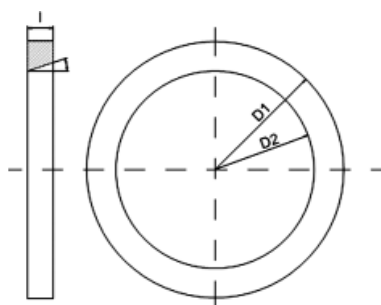
gdzie:

$u_1 u_2$ – odpowiednio prędkości w przekroju wlotowym anemometru bez oraz z zastosowaniem kryzy,
 $A_1 A_2$ – pola powierzchni przekrojów wlotowych bez i z kryzą

Po przekształceniu równania (1) otrzymujemy prosty związek na wartość prędkości w przekroju wlotowym anemometru z kryzą (2)

$$u_2 = u_1 \frac{A_1}{A_2} \quad (2)$$

Ponieważ iloraz A_1/A_2 jest zawsze >1 z równania (2) wynika, że średnia prędkość w przestrzeni za kryzą u_2 będzie zawsze większa od prędkości u_1 . Schemat przykładowej kryzy pomiarowej zamieszczono na rysunku 2.

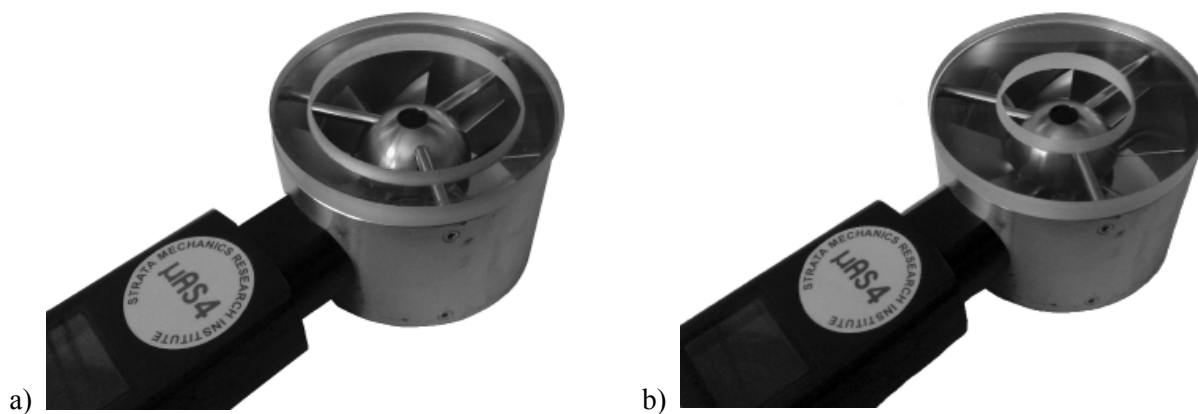


Rys. 2. Schemat kryzy pomiarowej

Grubość kryzy l , kąt α , średnice $D1$ i $D2$ powinny być dobrane indywidualnie do typu przyrządu i będą stanowić temat odrębnej analizy.

3.2. Kryzy – badania eksperymentalne

Badania eksperymentalne polegały na wykonaniu szeregu wzorcowań anemometru skrzydełkowego $\mu AS4$ w akredytowanym laboratorium wzorcującym. Anemometr wyposażono w kryzy dławiące przepływ (Rys. 4), w których procentowa wartość dławienia wynosiła odpowiednio 50% dla kryzy 1 oraz 90% dla kryzy 2.



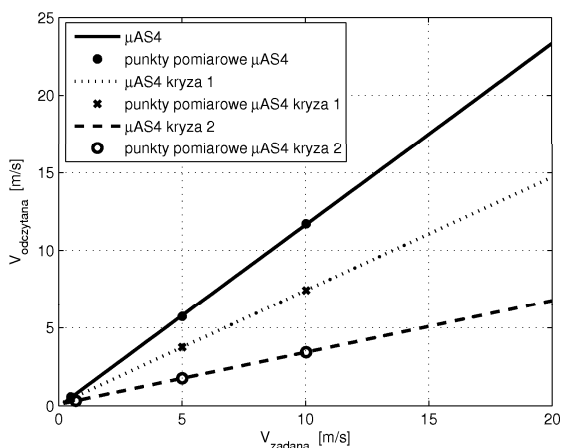
Rys. 4. Anemometr μ AS4 z: a) kryzą nr 1 b) kryzą nr 2

Na rysunku 5 zamieszczono wyniki wzorcowania anemometru w trzech kolejnych przypadkach: sam anemometr, z kryzą 1 oraz z kryzą 2 w trzecim przypadku. Przedstawiono na nim punkty pomiarowe oraz wyznaczone na ich podstawie zlinearyzowane charakterystyki anemometru zgodnie z zależnością (3). W każdym przypadku przyrząd został wywzorcowany dla trzech kolejnych prędkości przepływu, tj. 0,5, 5 oraz 10 m/s.

$$v_{read} = a_i v_{real} + b_i \quad (3)$$

gdzie:

- v_{read} – prędkość wskazywana przez anemometr,
- v_{real} – prędkość zadana,
- a_i, b_i – współczynniki prostej aproksymującej charakterystykę przetwarzania dla kolejnych przypadków wzorcowań.



Rys. 5. Wyniki wzorcowania anemometru

Wartości poszczególnych współczynników prostych aproksymujących charakterystykę przetwarzania zamieszczono w tabeli 1

Tab. 1. Współczynniki prostych aproksymujących charakterystyki przetwarzania

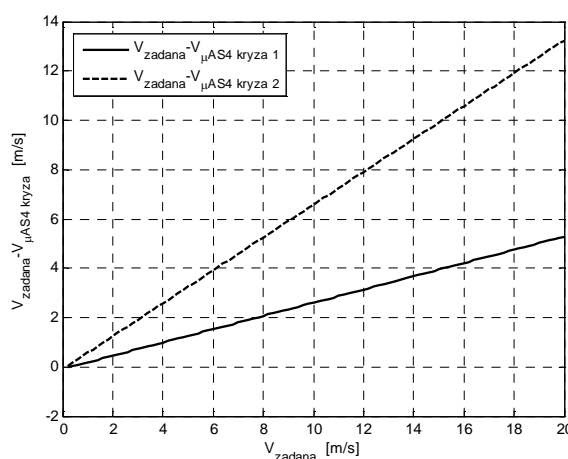
	a	b
μ AS4	1,169	-0,064
μ AS4 + kryza nr 1	0,731	0,085
μ AS4 + kryza nr 2	0,333	0,087

Dla wyznaczonych charakterystyk policzono kryterium nieliniowości uzyskanych charakterystyk opisane przez maksymalny moduł różnicy pomiędzy zmierzonymi wartościami prędkości przepływu, a odpowiadającymi im wartościami wynikającymi z aproksymacji charakterystyki. Wartość założonego kryterium nieliniowości wynosiła odpowiednio:

- 0.074 m/s dla anemometru bez kryzy dławiącej przepływ,
- 0.0009 m/s dla pomiarów z wykorzystaniem anemometru z kryzą nr 1,
- 0.065 m/s dla pomiarów z wykorzystaniem anemometru z kryzą nr 2.

Wyniki te pozwalają na stwierdzenie, że zastosowanie kryz dławiących opracowanych zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 2 powodują pomijalnie małe zmiany w kształcie charakterystyki przetwarzania anemometru skrzydełkowego. Charakterystyki te zachowują również swój liniowy charakter, przez co możliwe jest wyznaczenie dla danej prędkości przepływu stopnia tłumienia kryz.

Na rysunku 6 przedstawiono różnice między poprawną wartością prędkości, a wskazaniem anemometru μ AS4 z zastosowaniem kolejnych kryz dławiących stanowiące różnicę dwóch funkcji liniowych, w wyniku której uzyskuje się również funkcję liniową.



Rys. 6. Różnice między poprawną wartością prędkości, a wskazaniem anemometru μ AS4 z zastosowaniem kryz dławiących

Określony, liniowy charakter tych zmian w funkcji prędkości mierzonej pozwala, w prosty sposób, na określenie przewidywanego wskazania anemometru wyposażonego w kryzę dławiącą, umieszczonego w przepływie o znanej poprawnej wartości prędkości. Porównanie wartości wskazanej przez anemometr z wartością przewidywaną stanowi podstawę do weryfikacji wiarygodności metrologicznej sprawdzanego anemometru w punkcie pomiarowym o wartości prędkości uzyskanej za pośrednictwem kryzy dławiącej przepływ. Metoda ta wymaga użycia przyrządu wzorcowego, mierzącego wartość prędkości w otoczeniu przyrządu sprawdzanego w sposób możliwie dokładny oraz wiedzy o charakterystyce przetwarzania przyrządu sprawdzanego wyposażonego w określoną kryzę dławiącą.

4. Proponowana procedura sprawdzenia przyrządu z wykorzystaniem kryz pomiarowych

4.1. Sprawdzenie zerowej wartości prędkości

W pierwszym etapie sprawdzenia anemometru skrzydełkowego wykorzystuje się stosowaną dotychczas metodę sprawdzenia wskazania zerowego urządzenia. W tym celu należy dokonać całkowitego zdławienia przepływu na wlocie anemometru poprzez jego 100% zakrycie, odczekać do czasu samodzielnego zatrzymania się wirnika i odczytać wskazanie przyrządu kontrolowanego. W przypadku anemometrów skrzydełkowych zatrzymanie wirnika w sposób mechaniczny, blokując wirnik jest niedopuszczalne, z uwagi na możliwość jego uszkodzenia lub zmiany charakterystyki anemometru (wygięcie skrzydełek). Z uwagi na specyfikę

działania anemometrów skrzydełkowych, ich sprawdzenie w punkcie 0 m/s nie wnosi nic do informacji na temat przebiegu charakterystyki przetwarzania, stanowi jedynie test, czy urządzenie nie jest uszkodzone. Przy braku ruchu skrzydełka, wskazywanie niezerowej wartości prędkości przez urządzenie świadczy może jedynie o jego uszkodzeniu.

4.2. Sprawdzenie poprawności wskazania aktualnie mierzonej prędkości

Sprawdzenie poprawności aktualnie mierzonej prędkości zapewnia wykonanie pomiaru porównawczego z użyciem przyrządu mierzącego tą samą wielkość fizyczną o potwierdzonych na drodze wzorcowania właściwościach metrologicznych. Wskazania tego przyrządu traktowane są jako poprawna wartość prędkości przepływu.

W pierwszym etapie wykonania pomiaru porównawczego należy dokonać obserwacji wskazań przyrządu wzorcowego i dokonać oceny stabilności prędkości przepływającej strugi powietrza. Jeżeli odczytywana prędkość przepływu wykazuje cechy stacjonarności, tj. nie zmienia się, bądź jej fluktuacje są nieznaczne, można dokonać jednorazowego odczytania wskazania przyrządu sprawdzanego oraz sprawdzającego. W tym celu należy odczytać wartość prędkości wskazywanej przez przyrząd sprawdzany w niezakłóconej strudze powietrza. Następnie, przed przyrządem sprawdzanym umieścić przyrząd wzorcowy w jednej osi. Odległość między przyrządami musi być dobrana w sposób, który pozwoli na wyeliminowanie wpływu przyrządu sprawdzanego na wskazania przyrządu wzorcowego. Po uwzględnieniu poprawek zmierzonych wartości prędkości przez przyrząd sprawdzający i sprawdzany (o ile dostępne jest jego świadectwo wzorcowania), wyniki należy porównać ze sobą. Wynik porównania stanowi podstawę do oceny poprawności działania urządzenia pomiarowego w punkcie pomiarowym odpowiadającym aktualnie mierzonej prędkości.

4.3. Sprawdzenie poprawności wskazań anemometrów skrzydełkowych z zastosowaniem kryz dławiących przepływ

Wykorzystanie przedstawionych wyników badań eksperymentalnych kryz dławiących w metodzie wielopunktowego sprawdzenia właściwości metrologicznych sprowadza się do wykonania dwóch pomiarów dla każdego z punktów, w których anemometr podlega kontroli. W pierwszym etapie, w podobny sposób jak w punkcie 4.2, w otoczeniu anemometru sprawdzanego wykonywany jest pomiar prędkości przepływu anemometrem wzorcowym, na podstawie którego estymowana zostaje poprawna wartość prędkości przepływu, która z pewną niepewnością odpowiada prędkości v_{real} na charakterystyce przedstawionej na rysunku 5. Równocześnie odczytywane jest wskazanie przyrządu sprawdzanego wyposażonego w jedną z kryz dławiących przepływ, w wyniku czego uzyskiwany jest wynik pomiaru v_{anem} . Dodatkowo na podstawie charakterystyki $v_{read}(v_{real})$ (Rys. 5), dla określonego anemometru wyposażonego w daną kryzę pomiarową wykonywane jest obliczenie prędkości $v_{expected}$, którą ten anemometr wyposażony w daną kryzę dławiącą powinien wskazywać. Porównanie uzyskanych wartości prędkości, v_{anem} oraz $v_{expected}$ stanowi podstawę do oceny poprawności działania urządzenia pomiarowego w punkcie pomiarowym odpowiadającym prędkości zdeterminowanej przez określoną kryzę dławiącą przepływ. Ilość takich punktów sprawdzenia odpowiada liczbie zastosowanych kryz dławiących przepływ.

5. Uwagi końcowe

Metoda wielopunktowego sprawdzenia anemometrycznych przyrządów pomiarowych została zaproponowana w oparciu o wstępne badania eksperymentalne wykonane w laboratorium wzorcującym z wykorzystaniem anemometru skrzydełkowego typu μ AS4. W przypadku tego anemometru udowodniono, że możliwym jest dokonanie sprawdzenia przyrządu zgodnie z przedstawionymi założeniami. W celu rozszerzenia zastosowania przedstawionej metody sprawdzania konieczne jest przeprowadzenia serii dodatkowych badań w celu odpowiedniego dobrania i znormalizowania kryz dławiących dla różnych typów anemometrów skrzydełkowych. Planuje się również przeprowadzenie eksperymentów z zastosowaniem anemometrów mierzących z wykorzystaniem innych metod pomiarowych (np. anemometry ultradźwiękowe, termooanemometry) i określenie czy proponowana metoda sprawdzeń anemometrów może być również dla nich zastosowana.

Literatura

- Dziurzyński, W., Wasilewski S., Skotniczny P., Jamróz P., Kruczkowski J., 2013: *Zasady nadzoru nad wentylacyjnymi przyrządami pomiarowymi*. Prace IMG-PAN, Seria: Rozprawy i Monografie, nr 10.
- ISO/IEC Guide 99:2007 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM).
- Kruczkowski J., 2008: *System for continuous measurement of volumetric rate of unsteady air flow in workings of deep mines*. Archives of Mining Science, Vol. 53, No 4.
- Roszczyński W., Trutwin W., Waclawik J., 1999: *Kopalniane pomiary wentylacyjne*, Wydawnictwo „Śląsk”. Katowice.

The method of multi-point testing of vane anemometers under the real service conditions

Abstract

The analyses of the ventilation conditions in mines are based on measurements taken with various types of measuring devices (Roszczyński et al., 1999). These devices include vane anemometers whose readouts can be well utilised to determine the ventilation parameters associated with work safety in mines (Kruczkowski, 2008). Therefore, these devices have to be checked regularly to ensure reliable measurements. Nowadays anemometers that are installed in mine workings are checked infrequently or not checked at all, due to the lack of applicable procedures and methods. This study outlines the method of checking the vane anemometers, with the use of flow-throttling orifices- the same ones that were previously used for calibration. Thus the reliability of anemometer readouts at various control points can be verified, providing valuable information about the operational characteristics of the given device.

Keywords: vane anemometer, processing characteristics, checking the reliability of measurements