

# Badania przepływu powietrza „in situ” w wyrobisku górniczym, wyznaczenie kryterium przydatności przyrządów i metod

JERZY KRAWCZYK, JANUSZ KRUCZKOWSKI

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

## Streszczenie

W artykule przedstawiono problematykę pomiarów prędkości przepływu powietrza w chodnikowych wyrobiskach górniczych znajdujących się w rejonach ścian wydobywczych. Podstawowym celem takich pomiarów jest uzyskanie wiedzy o wielkości strumienia powietrza przepływającego przez ścianę. Jest to jedna z najbardziej pożądanych informacji w procesie wentylacji kopalni, umożliwiająca podejmowanie decyzji pozwalających na zapewnienie bezpieczeństwa załogi oraz prawidłowych prac eksploatacyjnych złoża. Badania pomiarowe wykonano stosując różnego typu przyrządy i różne techniki pomiaru. Wykorzystano anemometry ręczne, stacjonarne oraz system wielopunktowego pomiaru prędkości przepływu, który stanowił metrologiczny układ odniesienia dla analizowanych wyników. Użyte przyrządy pomiarowe były najnowszymi konstrukcjami jakie wykorzystuje się na polskich kopalniach i w pracach badawczo-naukowych Instytutu Mechaniki Górotworu PAN. Pomimo starań mających na celu wybór metody i miejsca pomiaru w sposób eliminujący wpływ nadmiernej ilości czynników na niepewność pomiaru, nie udało się uniknąć problemów potwierdzających trudny, skomplikowany, wymagający dodatkowych i – co należy podkreślić – wcześniejszych analiz, proces pomiarowy strumienia objętości w warunkach wyrobisk kopalń głębinowych. Dysponując danymi pomiarowymi pochodzącymi z działów wentylacji porównano wielkości obliczanych strumieni. Stwierdzono, że w każdym z analizowanych przypadków służby kopalniane uzyskiwały większą wartość strumienia niż otrzymywana podczas pomiarów badawczych wykonanych przez autorów. Stwierdzenie to jest b. istotne i stanowi przesłankę do opracowania jasno sprecyzowanych procedur pomiarowych – przeznaczonych dla służb wentylacyjnych kopalń – zawierających wszystkie elementy prawidłowego procesu pomiarowego, ze szczególnym uwzględnieniem analizy niepewności pomiaru. Wymagać to będzie prowadzenia badań parametrów metrologicznych przyrządów pomiarowych (anemometrów) w warunkach rzeczywistych przepływów. Autorzy uważają, że obecny stan metrologii strumienia objętości powietrza w wyrobisku kopalni głębinowej, nie pozwala na jednoznaczne sformułowanie uniwersalnego kryterium przydatności jednej metody pomiarowej.

**Słowa kluczowe:** wentylacja kopalń, niepewność pomiaru prędkości powietrza, anemometr skrzydełkowy, wielopunktowy pomiar pola prędkości powietrza, strumień objętości

## 1. Wprowadzenie

Pomiary przepływów powietrza o charakterze badawczo-naukowym w warunkach naturalnych (*in situ*) w wyrobiskach kopalń głębinowych, prowadzone są stosunkowo rzadko. Można wymienić kilka powodów takiego stanu rzeczy, wśród nich; trudności organizacyjne na szczeblu kopalni, brak niestandardowej aparatury badawczej, warunki środowiskowe niesprzyjające czasochłonnym eksperymentom metrologicznym. Oczywiście istnieją dane pomiarowe wykorzystywane w pracach naukowych dotyczących aerologii górniczej, są one jednak pozyskiwane najczęściej metodami standardowymi przez służby wentylacyjne kopalń, i na ogół twórcy prac nie rozważają ich niepewności.

Autorzy niniejszego artykułu od wielu lat prowadzą badania prędkości przepływów powietrza w wyrobiskach górniczych pod kątem skonstruowania urządzeń pomiarowych i znalezienia metod (lub udoskonalenia istniejących), które zwiększałyby dokładność wyznaczania strumienia objętości powietrza. Jednym ze skonstruowanych urządzeń pomiarowych jest system wielopunktowego pomiaru prędkości przepływu

w wyrobiskach górniczych (SWPPP) (Krach i in., 2006), umożliwiające wykonywanie i rejestrację pomiarów w wybranych miejscach przekroju wyrobiska. W systemie, do pomiaru prędkości stosuje się anemometryczne czujniki skrzydełkowe. Dane pomiarowe mogą być analizowane na bieżąco lub wykorzystywane w czasie późniejszym do obliczenia i analizowania zmian strumienia objętości. Szacując niepewność pomiarów otrzymywanych dzięki innym urządzeniom i metodom, autorzy uważają, że system SWPP zapewnia niepewność najmniejszą. Rejestracja prędkości przez kilkanaście czujników jednocześnie, w polu przekroju wyrobiska, pozwala poznać charakter przepływów kopalnianych. Umożliwia to wykorzystywanie zdobytej wiedzy do prac rozwojowych nad tradycyjnymi metodami pomiarowymi takimi jak trawers anemometrem ręcznym, czy lokalny pomiar anemometrem stacjonarnym.

Pomiary, których wyniki są prezentowane, wykonywano w rejonach ścian wydobywczych, a więc miejscach szczególnie istotnych ze względu na konieczność zapewnienia właściwych ilości przepływającego powietrza. Wyniki przeprowadzonych eksperymentów porównane zostały z danymi otrzymanymi od służb wentylacyjnych kopalń. Pomiary zostały wykonane w dwóch różnych kopalniach.

## 2. Pomiary przepływu powietrza w wyrobiskach przyścianowych

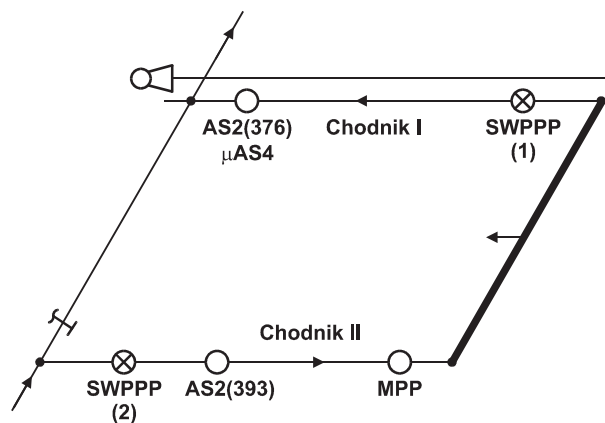
Znajomość wielkości strumienia objętości powietrza przepływającego przez ścianę jest jednym z podstawowych elementów zapewniających bezpieczeństwo jej eksploatacji, zarówno pod względem zagrożenia załogi jak i procesów technologicznych. Pomiary prędkości wykonywane w ścianie dają wyłącznie przybliżone informacje o wielkości przepływu. Zarówno wykorzystanie czujników stacjonarnych jak i anemometrów ręcznych w obszarze ściany jest uzasadnione wyłącznie w przypadkach, co do których przeprowadzono wcześniej analizę zasadności takiego pomiaru oraz obliczono jego niepewność.

Jedynym miejscem w którym można prowadzić pomiary mające na celu oszacowanie ilości powietrza przepływającego przez ścianę są chodniki przyścianowe. Niestety warunki tam panujące mogą skutecznie utrudniać lub wręcz uniemożliwiać ich wykonanie. Poniżej zostanie omówiona problematyka pomiarów wykonywanych w rejonie ściany w dowierzchniach wprowadzającej i wyprowadzającej powietrze.

Pomiary zostały wykonane przy użyciu następujących urządzeń:

- stacjonarne anemometry ultradźwiękowe typu AS2 włączone do systemu monitoringu kopalni,
- anemometry ręczne typu  $\mu$ AS i  $\mu$ AS4,
- system wielopunktowego pomiaru pola prędkości (SWPPP).

Zadanie pomiarowe było szczególnie trudne ze względu na realizowanie go podczas prowadzenia urobku ze ściany. Po raz pierwszy zastosowano zmodyfikowany system SWPPP w którym zmieniono oprogramowanie czujników anemometrycznych w sposób umożliwiający ich pracę bez konieczności użycie systemu sterującego. Było to wymuszone koniecznością skrócenia czasu rozwijania i uruchamiania systemu. Również z tego powodu ograniczono liczbę czujników do 9, oraz zmieniono technikę i sposób rozkładania konstrukcji nośnej składającej się teraz tylko z trzech kolumn nośnych. Po załączeniu czujniki pracowały samodzielnie gromadząc dane pomiarowe przez okres 1 godziny. Częstotliwość rejestracji wynosiła 1 Hz. Wszystkie czujniki zostały wcześniej poddane synchronizacji czasowej. Okres jednogodzinny został przyjęty z uwzględnieniem czasu potrzebnego na montaż systemu nośnego oraz wykonania pomiarów przy założeniu stacjonarności przepływu. Zmodyfikowane oprogramowanie pozwalało na wcześniejsze wyłączenie czujnika, bądź realizację kolejnych 1 godzinnych sesji pomiarowych. Schemat rejonu ściany z zaznaczonym rozmieszczeniem urządzeń pomiarowych pokazano na rys. 1. Ze względu na trudności związane z przemieszczaniem się w rejonie ściany i ograniczenia czasowe związane z obecnością zespołu pomiarowego w tym rejonie, pomiary zostały wykonane w dwóch etapach. W pierwszym etapie system SWPPP został rozłożony w chodniku wylotowym I (SWPPP (1)) w odległości około 100 m od wylotu ze ściany. W drugim etapie system zainstalowano w chodniku wlotowym II (SWPPP (2)) w odległości około 100 m od wlotu. Różnica w czasie pomiędzy etapami wynosiła 14 dni. W chodniku II znajdował się stacjonarny anemometr ultradźwiękowy typu AS2 o numerze 393 włączony do kopalnianego systemu monitoringu. Tego samego typu anemometr o numerze 376 pracował na wylocie z chodnika I. Rejestracje wykonane anemometrami stacjonarnymi w trakcie pierwszego i drugiego etapu pokazano na rysunkach 2 i 5. W chodniku I był zainstalowany dodatkowy lutniociąg doprowadzający powietrze w rejon skrzyżowania ściany z chodnikiem. Przewietrzanie ściany oraz ilość doprowadzanego lutniociągiem powietrza w czasie pierwszego, drugiego i pomiędzy etapami nie ulegały zmianom. W chodniku I wykonano pomiary anemometrem typu  $\mu$ AS4

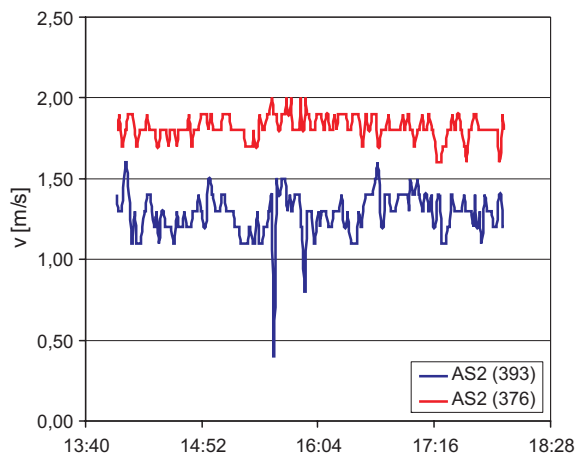


Rys. 1. Rejon wykonywania pomiarów. Rozmieszczenie urządzeń pomiarowych

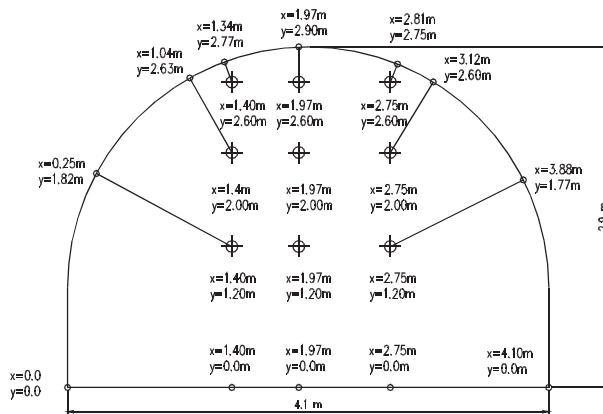
metodą trawersu ciągłego (Kruczkowski, 2006). Anemometr zamocowany był na wysięgniku opracowanym specjalnie dla tej metody pomiaru. Na wlocie do ściany zamierzano wykorzystać do pomiarów nowo opracowany w IMG PAN stacjonarny anemometr skrzydełkowy typu MPP. Z przyczyn niezależnych od autorów nie udało się uzyskać z niego danych przydatnych w niniejszym opracowaniu.

Uzyskane dane z rejestracji prędkości przez czujniki systemu SWPPP, w celu obliczenia strumienia objętości, wprowadzane są do programu STRUMIEŃ (Krach, Krawczyk, Kruczkowski, Pałka, 2006), wchodzącego w skład pakietu oprogramowania systemu. Program zawiera algorytmy umożliwiające obliczenia przy wykorzystaniu metody pola prędkości. Jest to metoda polegająca na całkowaniu rozkładu prędkości na polu przekroju poprzecznego wyrobiska. Ze względu na skończoną liczbę czujników niezbędne jest estymowanie rozkładu. Estymacja rozkładu prędkości na płaszczyźnie przekroju wyrobiska dokonywana jest metodą triangulacji liniowej. Oprócz punktów w których prędkość jest znana z pomiarów, metoda wprowadza dodatkowe punkty pomiarowe w których prędkość jest znana z obliczeń lub przyjętego założenia. Wszystkie te punkty muszą mieć zdefiniowane swoje położenia w przekroju wyrobiska.

Na rys. 3 pokazano sposób rozmieszczenia czujników w przekroju wyrobiska. Położenie czujników określano na podstawie pomiarów przy wykorzystaniu taśmy mierniczej. Przyjęto, że początek układu współrzędnych znajduje się w lewym dolnym rogu przekroju. Dodatkowo uwidoczniono punkty brzegowe których położenie jest obliczane na podstawie przyjętych w algorytmie założeń. Punktów tych jest 12. Dla przejrzystości rysunku pominięte zostały dodatkowe punkty, w których prędkość jest wyliczana przez program. Punkty te znajdują się na przecięciu przekątnych czworokątów utworzonych przez punkty pomiarowe i punkty brzegowe, lub tylko punkty pomiarowe. Ich położenie jest wyliczane. W przypadku pokazanym na rys. 3 takich punktów jest 14. Łącznie program wylicza prędkość w 35 punktach. Potem następuje ob-



Rys. 2. Rejestracja prędkości przez anemometry stacjonarne AS2 podczas pomiarów z wykorzystaniem SWPPP w chodniku I

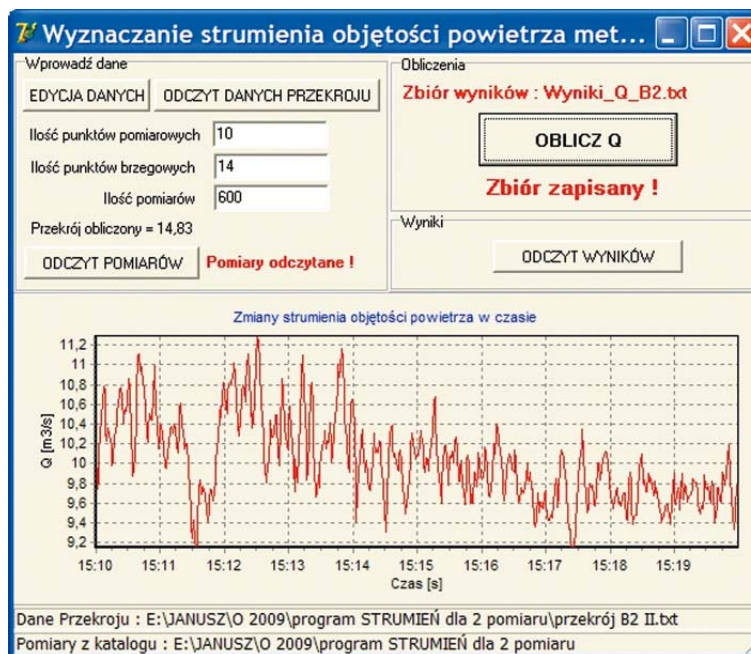


Rys. 3. Geometria przekroju chodnika I, z danymi o położeniu czujników i punktów brzegowych



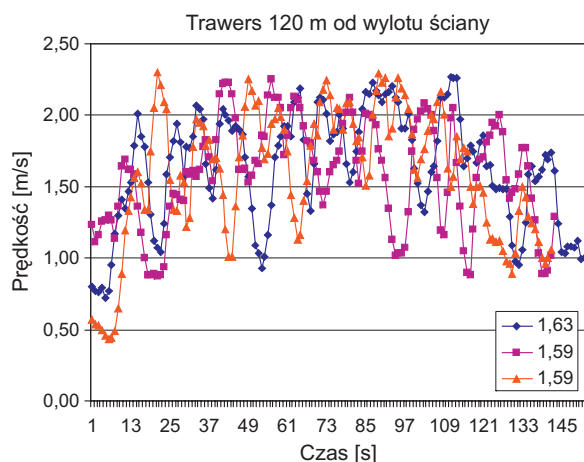
$v = 0,65$  m/s. Taki sposób postępowania zwiększa niepewność pomiaru ze względu na nieuwzględnianie zmiany profilu prędkości w polu przekroju nad wysięgnikiem, a także z powodu przyjęcia stałej wartości prędkości w punkcie dodatkowym.

Wyniki obliczeń przebiegu strumienia objętości podczas pomiarów w chodniku II pokazano na rys. 7. Wartość średnia strumienia wynosi  $Q_2 = 10,01$  m<sup>3</sup>/s = 601 m<sup>3</sup>/min.

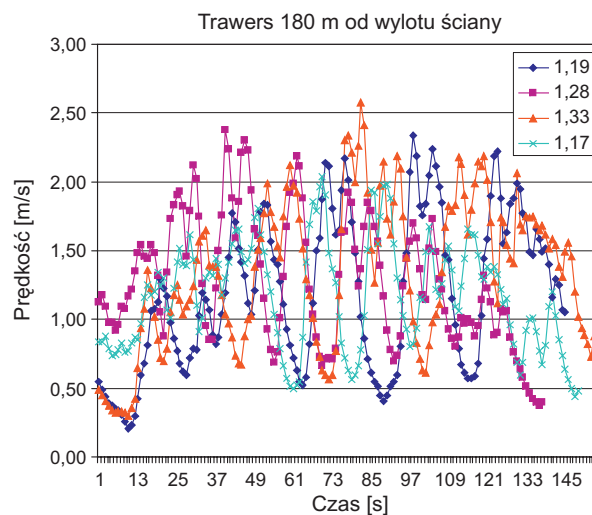


Rys. 7. Obliczenie przebiegu strumienia objętości w chodniku II

W chodniku I prowadzono również pomiary przy pomocy anemometru  $\mu$ AS4 metodą trawersu ciągłego z zastosowaniem wysięgnika. Częstotliwość rejestracji pomiarów do pamięci anemometru wynosi 1 Hz. Pomiary wykonano między innymi w rejonie rozłożenia systemu SWPPP. Na rys. 8 pokazano wykresy zmian prędkości podczas trzech trawersów wykonanych w odległości 120 m, a na rys. 9 trzech trawersów wykonanych w odległości 180 m od wylotu ściany. Obok wykresów widoczne są wartości prędkości średniej dla każdego trawersowania. Zmierzone przekroje w miejscach trawersowania wynosiły odpowiednio 14,18 m<sup>2</sup> i 14,69 m<sup>2</sup>. Analizując dane z obu pomiarów można stwierdzić różnice w profilu prędkości między jednym a drugim przekrojem.



Rys. 8. Pomiary anemometrem  $\mu$ AS4 w chodniku I, 120 m od wylotu ściany



Rys. 9. Pomiary anemometrem  $\mu$ AS4 w chodniku I, 180 m od wylotu ściany

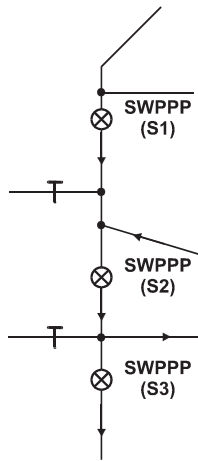
Na tej podstawie wyliczono średni strumień zmierzony metodą trawersowania przekroju anemometrem ręcznym  $Q_3 = 14,44 \text{ m}^3/\text{s} = 867 \text{ m}^3/\text{min}$ .

### 3. Badania przepływów powietrza w dowieżchni

Pomiary zostały przeprowadzone w trzech wybranych miejscach dowieżchni doprowadzającej powietrze w rejon ścian. Miejsca różniły się od siebie ze względu na występujące w nich elementy wyposażenia. Pomiary zostały przeprowadzone podczas jednej zmiany roboczej, w czasie której nie wykonywano prac wydobywczych. Konfiguracja systemu SWPP i jego oprogramowanie były analogiczne jak w opisywanych wcześniej pomiarach w wyrobiskach przyścianowych.

Na rys. 10 pokazano schematycznie rejon pomiarów i miejsca kolejnych rozłożeń systemu SWPPP.

W miejscu oznaczonym na rysunku symbolem S1 zabudowane były przeciwwybuchowe zapory pyłowe rys. 11. Ich obecność wymagała wyznaczenia pola przekroju zapory z uwzględnieniem wysokości nadsypki pyłu. Ze względu na nierówności spagu występowały także problemy z dokonaniem pomiarów geometrii

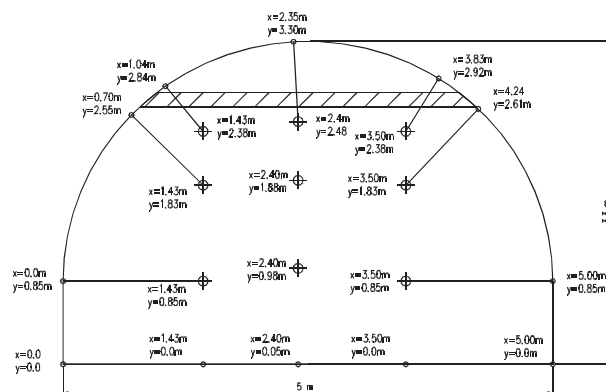


Rys. 10. Schemat rejonu pomiarów w dowieżchni z zaznaczeniem miejsc rozłożenia systemu SWPPP

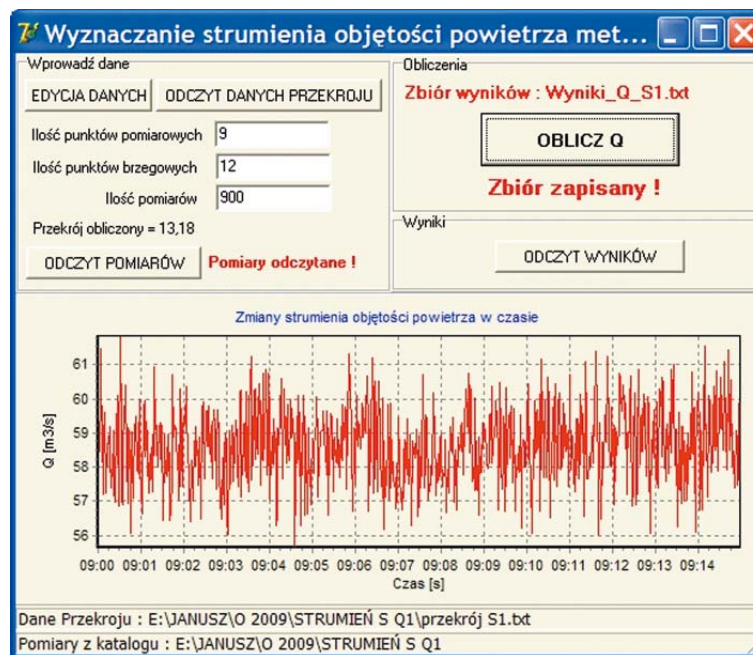


Rys. 11. Miejsce pomiarów w przekroju S1

położenia czujników. Najbardziej istotnym problemem było występowanie przestrzeni przepływu ponad zaporami. W omawianym przypadku udało się przy pomocy anemometru ręcznego  $\mu\text{AS}$  z wysięgnikiem zbadać występujące tam prędkości i ze względu na ich niewielką wartość przyjąć, że przepływający strumień może być pominięty. Przebieg strumienia objętości w przekroju S1 pokazano na rys. 13. Obliczona wartość średnia strumienia wynosiła  $Q_{S1} = 58,64 \text{ m}^3/\text{s} = 3519 \text{ m}^3/\text{min}$ .



Rys. 12. Geometria przekroju S1, z danymi o położeniu czujników i punktów brzegowych



Rys. 13. Obliczenie przebiegu strumienia objętości w przekroju S1

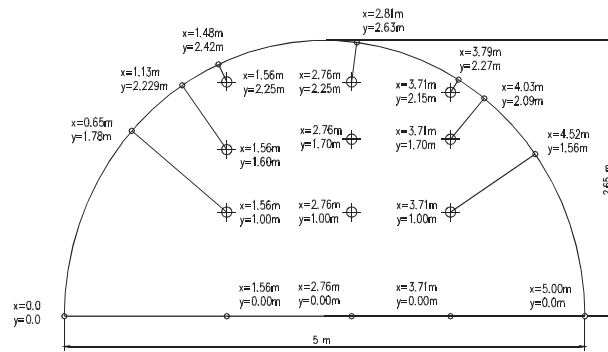
Przekrój S2 pokazany na rys. 14 praktycznie nie zawierał żadnych istotnych elementów mających wpływ na dokładność pomiaru a pola przekrojów rurociągów były łatwe do obliczenia. Jedynym utrudnieniem w pomiarach geometrii były nierówności spągu. Na rys. 16 pokazano przebieg obliczonego strumień objętości dla tego przekroju. Obliczona wartość średnia strumienia wynosiła  $Q_{S2} = 39,61 \text{ m}^3/\text{s} = 2377 \text{ m}^3/\text{min}$ .



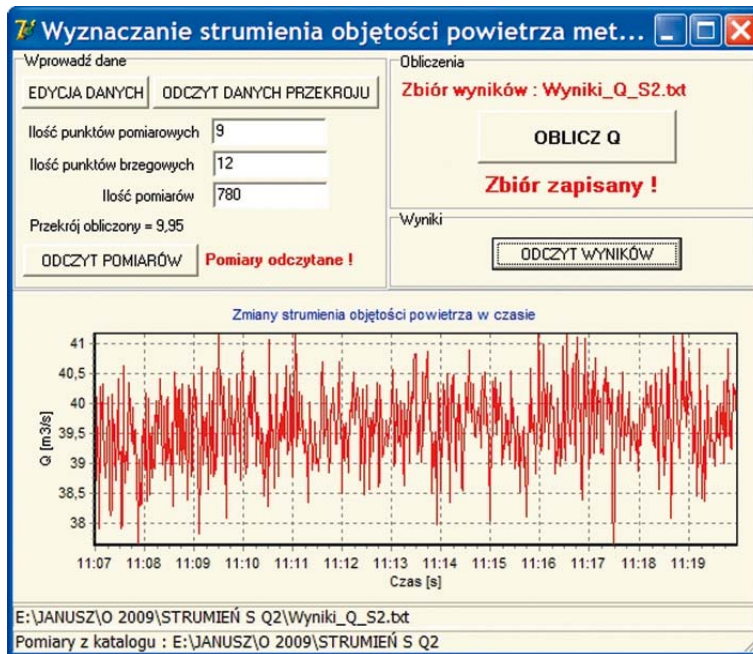
Rys. 14. Miejsce pomiarów w przekroju S2

W przekroju S3, co jest widoczne na rys. 17, występowało najwięcej elementów konstrukcyjnych utrudniających prawidłowe wykonanie pomiarów. Oprócz rurociągów, torowiska kolejki i elementów lutniociągów w wyrobisku zabudowano drewniane kaszty podpierające strop. Z tego powodu pomiary w tym miejscu nie powinien być wykonywane. Jednak w sytuacjach szczególnych służby wentylacyjne muszą pojąć próbę zmierzenia strumienia objętości nawet w takich warunkach.

Na rys. 19 pokazano zmiany strumienia objętości w przekroju S3 obliczone przy pomocy programu STRUMIEN. Dane wyjściowe z programu pozwoliły na obliczenie wartości średniej strumienia objętości  $Q_{S3} = 29,08 \text{ m}^3/\text{s} = 1744 \text{ m}^3/\text{min}$ .



Rys. 15. Geometria przekroju S2, z danymi o położeniu czujników i punktów brzegowych

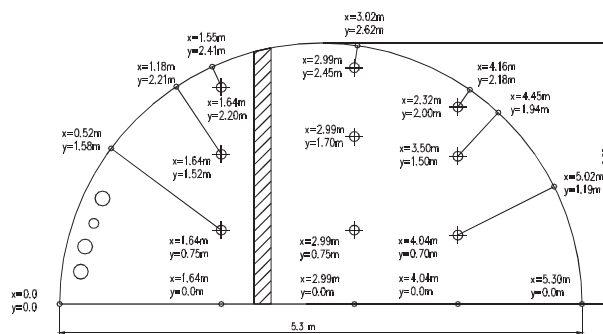


Rys. 16. Obliczenie przebiegu strumienia objętości w przekroju S2

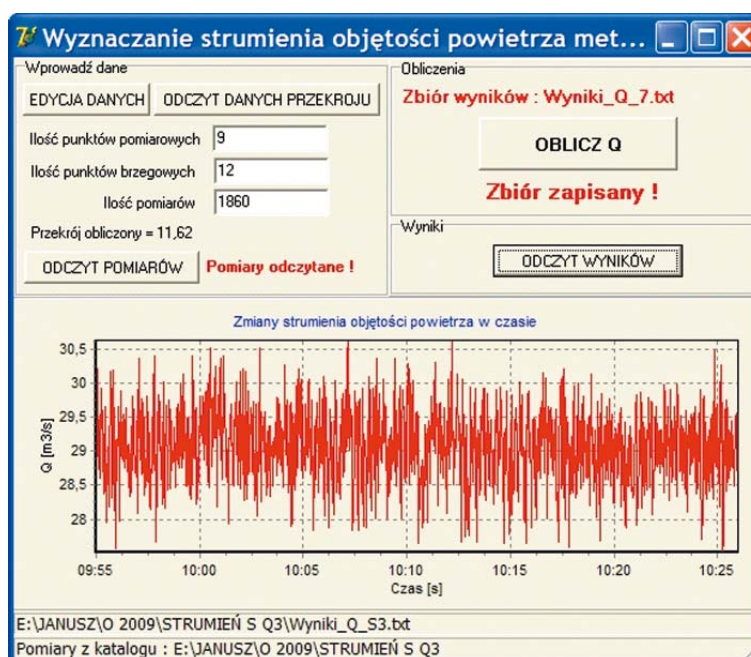


Rys. 17. Miejsce pomiarów w przekroju S2





Rys. 18. Geometria przekroju S2, z danymi o położeniu czujników i punktów brzegowych



Rys. 19. Obliczenie przebiegu strumienia objętości w przekroju S3

#### 4. Porównanie otrzymanych wyników z danymi służb wentylacyjnych

Otrzymane wyniki pomiarów umożliwiły porównanie ich z danymi odnoszącymi się do tych samych wyrobisk, będącymi w posiadaniu służb wentylacyjnych. Dane te uzyskiwano stosując głównie metodę trawersu ciągłego ręcznym anemometrem skrzydełkowym bez wysięgnika. Część danych pochodziła z wyliczeń strumienia objętości w oparciu o dane z anemometrów stacjonarnych – ultradźwiękowych bądź skrzydełkowych. W przypadku kopalni pierwszej, w której pomiary prowadzono w wyrobiskach przyścianowych podano przedziały wielkości strumienia objętości.

Jak wynika z tabeli I strumień przyjmowany przez kopalnię jako rzeczywisty w chodniku I jest prawie o 54,7% większy niż zmierzony systemem SWPPP. W przypadku chodnika II różnica wynosi 24,8%. Należy zwrócić uwagę na wynik pomiaru anemometrem ręcznym na wysięgniku. Pomiar został przeprowadzony z zachowaniem wszystkich wymogów prawidłowego wykonania. Stwierdzenie takie można wysnuć analizując zapisy w pamięci anemometru pokazane na rys. 8 i 9. Wynik jest znacznie bardziej zbliżony do otrzymanego z systemu WSPPP niż wyniki podawane przez służby wentylacyjne, jednak jego wartość jest o 7,5% mniejsza.

Analizując dane pomiarowe z drugiej kopalni, dla dowierzchni, stwierdzamy przyjmowanie przez służby wentylacyjne wartości strumienia w przekroju S1 o 35,0% większego niż obliczony przez system MPP. Odpowiednio w przekroju S2 jest to wartość o 49,3% większa, a w przekroju S3 o 31,9%. Uwagę

zwraca największa rozbieżność uzyskana dla pomiarów wykonanych w przekroju S2. Ze względu na brak utrudnień w tym miejscu przy wykonywaniu pomiarów, fakt ten jest przykładem na istnienie dużych rozbieżności pomiędzy metodami, prowadzących do znacząco różnych wyników.

Tab. I. Porównanie danych pomiarowych dla wyrobisk przyścianowych

| Strumień objętości powietrza w chodniku I<br>[m <sup>3</sup> /min]  |                             |  |
|---|-----------------------------|--|
| Służby wentylacyjne   | Trawers anemometrem ręcznym | Obliczenia przy pomocy programu STRUMIEN |
| <b>1450-1600</b>  | <b>867</b>                  | <b>937</b>                               |
| Strumień objętości powietrza w chodniku II<br>[m <sup>3</sup> /min] |                             |  |
| Służby wentylacyjne   | Trawers anemometrem ręcznym | Obliczenia przy pomocy programu STRUMIEN |
| <b>1050-1200</b>  | Brak danych                 | <b>601</b>                               |

Tab. II. Porównanie danych pomiarowych dla dowiezchni

| Strumień objętości powietrza w dowiezchni<br>przekrój S1<br>[m <sup>3</sup> /min] |  |  |
|---|--|--|
| Służby wentylacyjne   |  | Obliczenia przy pomocy programu STRUMIEN |
| <b>4750</b>   |  | <b>3519</b>                              |
| Strumień objętości powietrza w dowiezchni<br>przekrój S2<br>[m <sup>3</sup> /min] |  |  |
| Służby wentylacyjne   |  | Obliczenia przy pomocy programu STRUMIEN |
| <b>3550</b>   |  | <b>2377</b>                              |
| Strumień objętości powietrza w dowiezchni<br>przekrój S3<br>[m <sup>3</sup> /min] |  |  |
| Służby wentylacyjne   |  | Obliczenia przy pomocy programu STRUMIEN |
| <b>2300</b>   |  | <b>1744</b>                              |

## 5. Wnioski

Wyznaczanie strumienia objętości powietrza na podstawie pomiarów prędkości w polu przekroju wyrobiska jest procesem trudnym, a jego wynik zależy od zastosowanej metody pomiaru i użytych przyrządów. Wymaga również wiedzy na temat zjawisk przepływowych w rejonie pomiaru i wiedzy na temat własności metrologicznych stosowanego czujnika anemometrycznego.

Wprowadzenie do metrologii wentylacyjnej wielopunktowego systemu pomiaru pola prędkości stanowi istotny krok w zwiększaniu dokładności pomiarów i w dalszych badaniach nad zjawiskami przepływowymi w wyrobiskach kopalnianych. Pomimo wad systemu jakimi są np. utrudnianie ruchu w wyrobisku po jego rozłożeniu, czy też ilość elementów składowych wymagająca obecności kilku osób podczas transportu, jest to urządzenie pomiarowe o dużych możliwościach metrologicznych, pozwalające na uzyskiwanie mniejszych niepewności pomiaru niż w dotychczas stosowanych metodach. Wprowadzone udoskonalenia, znacznie zwiększyły jego „mobilność” oraz skróciły czas niezbędny do wykonania pomiaru. Należy jednak zaznaczyć, że nie jest korzystne ze względu na zwiększający się błąd pomiaru, ograniczanie ilości czujników. Z tego powodu będą kontynuowane prace nad dalszymi modyfikacjami konstrukcji nośnej.

W artykule zostały przedstawione wyniki pomiarów wykazujące, że strumień zmierzony systemem SWPPP był każdorazowo mniejszy od strumienia wyznaczonego przez służby wentylacyjne kopalni. Wydaje się, że nie jest to zjawisko przypadkowe. Autorzy realizowali przy użyciu tego systemu wielokrotnie pomiary strumienia również w innych kopalniach. Zmierzona wartość, jeżeli istniała możliwość porównania,

okazywała się mniejszą od przyjmowanej przez kopalnię. Ilość takich przypadków była znacząca. Dlatego postanowiono przeprowadzić badania w rejonach ścian, gdzie służby wentylacyjne prowadzą ciągłe pomiary wykorzystując anemometry zarówno ręczne jak i stacjonarne. Dane pomiarowe są aktualne i wielokrotnie weryfikowane. Przyczyny możliwych błędów pomiarowych w obu metodach są od dawna znane i były wielokrotnie analizowane. Nie było jednak podstaw aby sądzić, że stosowane metody prowadzą do obliczania większej wartości strumienia niż zbliżona do rzeczywistej. Wprowadzenie nowej metody jaką było użycie systemu WSPPP spowodowało zwrócenie uwagi na to zjawisko. Jeżeli zawyżanie wartości pomiarów strumienia powietrza znajdzie potwierdzenie w dalszych badaniach, konieczne będą udoskonalenie lub zmiana dotychczasowych procedur pomiarowych.

W artykule nie poruszono problematyki pomiaru drugiego istotnego parametru niezbędnego do wyznaczenia strumienia objętości – pola przekroju wyrobiska. Przy stosowaniu WSPPP znajomość pola wyrobiska nie jest potrzebna. Konieczne jest jednak określenie położenia czujników anemometrycznych względem zarysu brzegów wyrobiska. Najlepszą z metod w opinii autorów jest metoda fotogrametryczna. Jej wadą jest konieczność dysponowania urządzeniem do fotografii cyfrowej w warunkach dołowych, i spełniającym wymogi przepisów górniczych.

Aktualny stan metrologii prędkości przepływów w wyrobiskach kopalnianych nie pozwala w jednoznaczny sposób określić kryteriów przydatności poszczególnych metod lub przyrządów. Różnorodność środowiska pomiarowego, a także różna wrażliwość poszczególnych przyrządów pomiarowych na te same czynniki wpływające na niepewność pomiaru powodują, że przed wykonaniem pomiarów należy indywidualnie określić przydatność metody lub czujnika pomiarowego. Pokazane istotne różnice w wynikach pomiarów wskazują na konieczność kontynuowania badań nad metodyką uzyskania danych o wielkości strumienia przepływu o jak najmniejszej niepewności.

Praca została wykonana w roku 2009 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Udział w pomiarach „in-situ” brali Tadeusz Bacia i Robert Nowak.

## 6. Literatura

Krach A., Krawczyk J., Kruczkowski J., Pałka T., 2006: *Zmienność pola prędkości i strumienia objętości powietrza w wyrobiskach kopalń głębinowych*. Archives of Mining Sciences. Monograph 1. Kraków.

Kruczkowski J., 2006: *Analiza danych pomiarowych uzyskanych z anemometrycznych czujników stacjonarnych i przenośnych*. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN. T. 8, nr 1-4. Kraków.

### **In situ research on the flow of air in the airways of underground mines. Formulation of criteria of devices and methods applicability**

#### **Abstract**

Measurements of the velocity field in galleries of the longwall region is the scope of this paper. Estimation of the volume flow quantity in the longwall is the main objective of such survey. This information is crucial for decisions concerning safety and efficiency of longwall mining operations. During this research various measuring devices and survey procedures have been compared. Among them were developed at the IMG-PAN Institute: handheld and stationary vane anemometers and an unique array of wirelessly linked velocity sensors. This array measures on line and records the velocity field by multipoint simultaneous sampling. Data from the array was selected as a reference to compared devices and survey methods. Several problems have been faced by researchers during those measurements.

Comparison with more accurate methods indicate that routine ventilation survey tend to overestimate the value of flow. Such discrepancies justify a need for more precise formulation of volume flow measurement procedures in mine ventilation. Those procedures may result from further field research and should also enable uncertainty estimation. According to authors, current mine ventilation knowledge base does not provide an univocal formulation of an universal criteria or method.

**Keywords:** mine ventilation, uncertainty of air velocity measurement, vane anemometer, mine ventilation multipoint velocity measurement, velocity field, volumetric flow rate