

# Detekcja nagłych zmian w przebiegu strumienia objętości mierzonego przy użyciu Systemu Wielopunktowego Pomiaru Pola Prędkości

PIOTR OSTROGÓRSKI

*Instytut Mechaniki Górotworu PAN, ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków*  
e-mail: ostrogorski@img-pan.krakow.pl

## Streszczenie

Artykuł jest opisem próby zastosowania algorytmicznych metod wykrywania zdarzeń procesowych do rozpoznawania nagłych zmian strumienia objętości powietrza. Algorytmy oparto na sekwencyjnie przeprowadzonych testach statystycznych. Wykorzystano testy nieparametryczne Manna-Whitney-Wilcoxon'a i Lepage'a oraz test na normalność rozkładu – Shapiro-Wilka. Wyniki w postaci procentowej ilości przedziałów odrzuconych ze względu na spełnienie hipotezy zerowej zestawiono z obserwacjami zaburzeń poczynionych podczas eksperymentów. Całość badań jest nakierowana na opracowanie algorytmów pozwalających na odrzucanie błędów grubych powstających w trakcie pomiarów strumienia objętości powietrza przy użyciu Systemu Wielopunktowego Pomiaru Pola Prędkości.

**Słowa kluczowe:** detekcja nagłych zmian, strumień objętości powietrza, pomiar wielopunktowy

## 1. Wstęp

System Wielopunktowego Pomiaru Pola Prędkości jest zespołem jednakowych anemometrów zdolnych do jednoczesnej akwizycji pomiarów prędkości powietrza. Anemometry umieszczone są w płaszczyźnie przekroju poprzecznego kanału pomiarowego, tak aby uzyskać jak najpełniejszą informację o profilu przepływu i wykluczyć obszary zakłóceń pomiaru. Kanałem pomiarowym może być chodnik kopalniany, kanał wentylatora, odrzwia tamy bezpieczeństwa jak również inne przewody wentylacyjne o znacznych gabarytach. Współdziałanie anemometrów polega na synchronicznym zapisie do pamięci pomiarów prędkości powietrza w wybranych punktach przekroju. Wynikiem pomiaru SWPPP jest chwilowy strumień objętości powietrza. Strumień wyznaczany jest metodą bryły prędkości [2]. Do wyznaczenia strumienia objętości powietrza tą metodą potrzebna jest znajomość geometrii obrysu przekroju kanału pomiarowego i prędkości chwilowej w wybranych punktach.

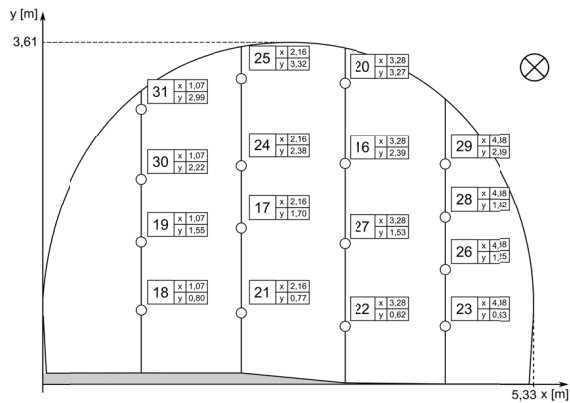
Często oczekiwanym wynikiem pomiaru SWPPP jest średni strumień objętości powietrza. Uzyskuje się go poprzez średnią arytmetyczną chwilowego strumienia objętości w wybranym wycinku czasu lub w całym czasie rejestracji danych pomiarowych.

W artykule zwrócono uwagę na sposób rozpoznawania zaburzeń w pomiarze średniego strumienia objętości. Podjęto próbę zastosowania algorytmicznych metod wykrywania zdarzeń procesowych do wskazywania miejsc podejrzanych o niestacjonarność jak i popełnienie błędu grubego związanego z zaburzeniami przepływu. Celem badań autora jest opracowanie algorytmów marginalizujących wpływ człowieka na wynik pomiaru średniego strumienia objętości powietrza. Wpływ człowieka rozumie się dwójako. W pierwszym przypadku jest to wpływ osób przebywających w obszarze oddziaływania na czujniki. W drugim przypadku jest to wpływ subiektywnego wyboru przedziału czasu, tak aby wykluczyć zauważone zakłócenia.

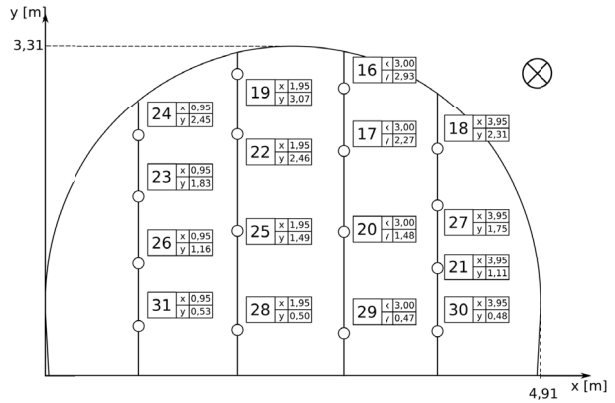
## 2. Materiał i metodyka

W badaniach wykorzystano dane pomiarowe pochodzące z eksperymentów wykonywanych w chodnikach kopalnianych prowadzonych w obudowie ŁP. Każdorazowo w przekroju pomiarowym znajdowało się 16 anemometrów rozmieszczonych na 4 kolumnach w taki sposób, że kolumny dzieliły szerokość wyrobiska na 5 możliwie równych

odcinków. Na każdej kolumnie były 4 anemometry. Obrys wyrobiska ustalono na podstawie znajomości typu obudowy, zmierzonej wysokości i szerokości oraz odległości skrajnych anemometrów od łuków ociosowych. W obliczeniach strumienia postępowano zgodnie z metodyką podaną w monografii [2]. W obu rozważanych przypadkach starano się wykluczyć potencjalne źródła zakłóceń. Rysunki 1 i 2. ukazują położenie anemometrów względem lewego rogu przekroju pomiarowego.

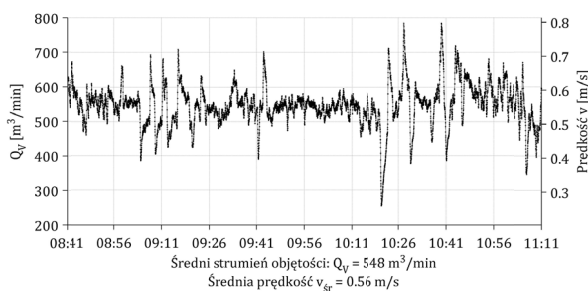


Rys. 1. Kształt przekroju pomiarowego i rozmieszczenie anemometrów. Eksperyment 1

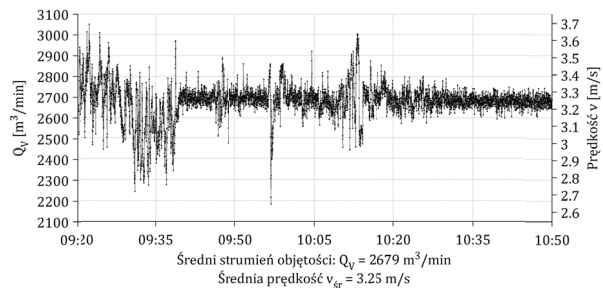


Rys. 2. Kształt przekroju pomiarowego i rozmieszczenie anemometrów. Eksperyment 2

Z punktowych pomiarów prędkości powietrza wyliczono chwilowy strumień objętości dla każdego przypadku. Bazowano na dwóch przebiegach strumienia objętości wyliczonych z dwóch niezależnych eksperymentów pomiarowych. Przebiegi przedstawiono na rysunkach 3 i 4.



Rys. 3. Wynik pomiaru chwilowego strumienia objętości powietrza. Eksperyment 1



Rys. 4. Wynik pomiaru chwilowego strumienia objętości powietrza. Eksperyment 2

Tab. 1. Podstawowe dane przebiegów eksperymentalnych dla strumienia objętości powietrza

	Średnia arytmetyczna [m <sup>3</sup> /min]	Odchylenie standardowe [m <sup>3</sup> /min]	Rozstęp [m <sup>3</sup> /min]	Czas [s] Równy ilości próbek
Eksperyment 1	548	59,35	529,68	9051
Eksperyment 2	2679	84,90	869,56	5688

Dane eksperymentalne analizowano w oparciu o notatki z obserwacji miejsca pomiarowego. Notowano informacje o zauważonych zakłóceniach takich jak obecność osób w obszarze oddziaływania na System Wielopunktowy.

Tab. 2. Notatki z obserwacji miejsca pomiarowego podczas eksperymentu 1

1	8:53	Zakończono wykonywanie dokumentacji rysunkowej
2	9:01-9:25	Pomiar prędkości średniej metodą trawersu w odległości 6 m przed SWPPP
3	9:30-9:44	Pomiary w odległości 30 m przed SWPPP.
4	9:44-9:58	Pomiary w odległości 32 m przed SWPPP.
5	10:25-10:40	Pomiar prędkości średniej metodą trawersu 6 m przed SWPPP
6	10:55	Pomiary punktowe anemometrem
7	11:10	Zakończenie pomiarów

**Tab. 3.** Notatki z obserwacji miejsca pomiarowego podczas eksperymentu 2

1	9:42	Zakończono wykonywanie dokumentacji rysunkowej
2	10:23-10:29	Pomiar prędkości średniej metodą trawersu 2 m przed SWPPP
3	10:30	Pomiar niezakłócony przechodzeniem ludzi
4	10:55	Zakończenie pomiaru w miejscu 1. Przenoszenie systemu.
5	11:14	Pomiar prędkości średniej metodą trawersu 2 m przed SWPPP

Metodyka badań polegała na wykorzystaniu rzeczywistych danych pomiarowych do porównania i stwierdzenia, który ze sposobów jest najbardziej skuteczny w automatycznym przetwarzaniu danych pomiarowych celem odrzucenia zakłóceń.

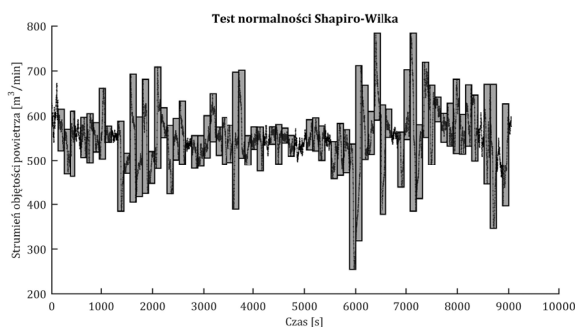
Napisano skrypty programu R wykonujące testy statystyczne na próbie ograniczonej oknem czasowym. Zastosowano metodę okienkowania. Okno przesuwało co stałą ilość próbek wyliczając wartość statystyki testu i ocenę wiarygodności hipotezy – wartość P. Wykorzystano do tego celu dwa testy nieparametryczne: sumy rang Wilcozona i test Lepage’a. Pierwszy dotyczy przesunięcia rozkładu prób względem siebie. Drugi dotyczy przesunięcia i skali rozkładu prób. Dodatkowo wykonano test Shapiro-Wilka, który daje informacje o ocenie zgodności rozkładu analizowanej próby z rozkładem normalnym. Wybór testów statystycznych nie był przypadkowy. W wyborze autor sugerował się przeglądem testów zamieszczonym w literaturze [1]. Testy Wilcozona i Lepage’a nie posiadają założeń co do znajomości rozkładu próby. Pozwala to na większą swobodę w stosowaniu tych testów.

Dodatkowo dla każdego przedziału wyliczano wartość średnią, wariancję i rozstęp. Każdy z przedziałów był dzielony na dwa o jednakowej ilości próbek, po czym porównując je między sobą starano się wykryć wystąpienie zakłócenia. Następnie oznaczono przedziały nie spełniające hipotez mówiących o braku zmian w przesunięciu rozkładu lub skali. W wyniku testu Shapiro-Wilka oznaczono przedziały z niegaussowskim rozkładem próby – tym samym podejrzewane o występowanie zakłóceń.

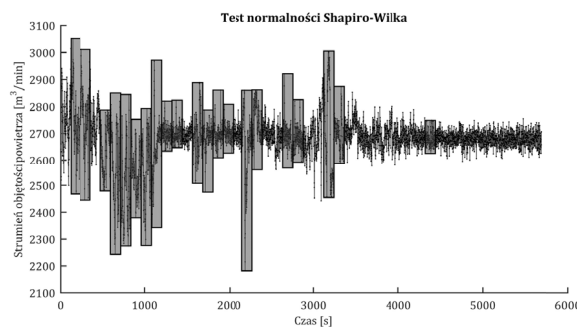
### 3. Wyniki

Na podstawie testów statystycznych oznaczono przedziały podejrzane o wystąpienie zakłóceń. Poniżej przedstawiono wyniki uzyskane na podstawie testu Shapiro-Wilka.

We wszystkich przedstawianych wynikach testów zaznaczono przedziały dla których wartość P testu była mniejsza niż 0,05.



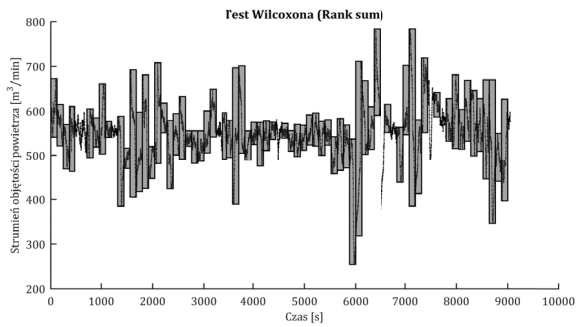
**Rys. 5.** Wynik eksperymentu 1 z zaznaczonymi przedziałami nie spełniającymi testu Shapiro-Wilka. Obszary niezaznaczone, w wyniku testu, uznano za posiadające rozkład normalny



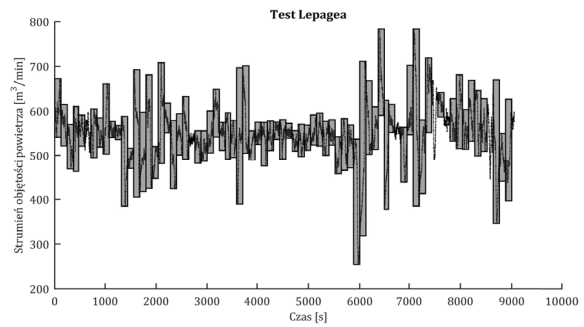
**Rys. 6.** Wynik eksperymentu 2 z zaznaczonymi przedziałami nie spełniającymi testu Shapiro-Wilka. Obszary niezaznaczone, w wyniku testu, uznano za posiadające rozkład normalny

Z sekwencyjnie przeprowadzonego testu normalności widać, że znaczne części badanych sygnałów zostały zakwalifikowane jako nie posiadające rozkładu normalnego. Jest to potwierdzeniem słuszności wyboru testów nieparametrycznych do oceny występowania zakłóceń. W przypadku testów parametrycznych trudnym byłoby spełnienie założeń dotyczących znajomości rozkładu. Jako że nie ma przeciwwskazań dla określenia apriori rozkładu normalnego dla danych pomiarowych strumienia objętości powietrza w warunkach stacjonarnych, informacja o niespełnieniu testu Shapiro-Wilka jest również wskazaniem na przedziały z zakłóceniami. Test Shapiro-Wilka dla eksperymentu 1 wskazał, że zaledwie 11/75 przedziałów spełnia hipotezę o normalności rozkładu. Stanowi to 14,6% długości rejestracji. W przypadku eksperymentu 2, 26/47 przedziałów spełnia hipotezę o normalności, co stanowi 55,3% długości rejestracji.

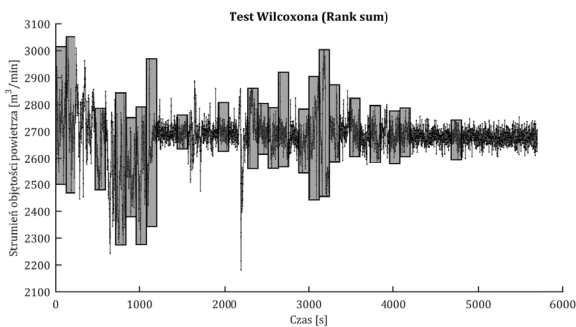
Wynik testu Wilcozona (Rys. 7) wskazuje na odrzucenie 66/75 przedziałów z danymi, stanowi to 88% długości rejestracji sygnału. Wynik testu Lepage’a (Rys. 8) wskazuje na odrzucenie 69/75 przedziałów z danymi, stanowi to 92% długości rejestracji sygnału.



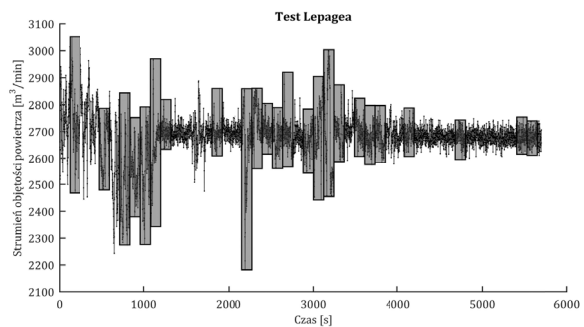
**Rys. 7.** Wynik pomiaru chwilowego strumienia objętości powietrza wraz z zaznaczonymi obszarami niepełnienia hipotezy zerowej testu sumy rang Wilcoxona. Eksperyment 1



**Rys. 8.** Wynik pomiaru chwilowego strumienia objętości powietrza wraz z zaznaczonymi obszarami niepełnienia hipotezy zerowej testu Lepagea. Eksperyment 1



**Rys. 9.** Wynik pomiaru chwilowego strumienia objętości powietrza wraz z zaznaczonymi obszarami niepełnienia hipotezy zerowej testu sumy rang Wilcoxona. Eksperyment 2

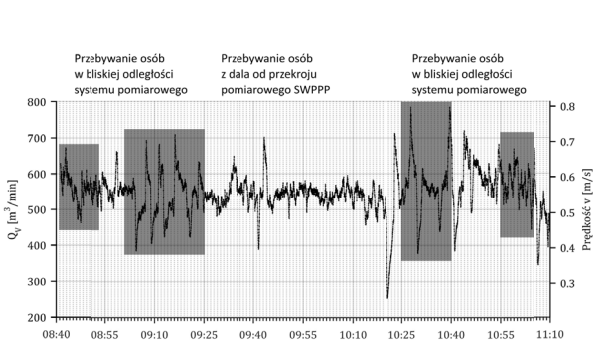


**Rys. 10.** Wynik pomiaru chwilowego strumienia objętości powietrza wraz z zaznaczonymi obszarami niepełnienia hipotezy zerowej testu Lepagea. Eksperyment 2

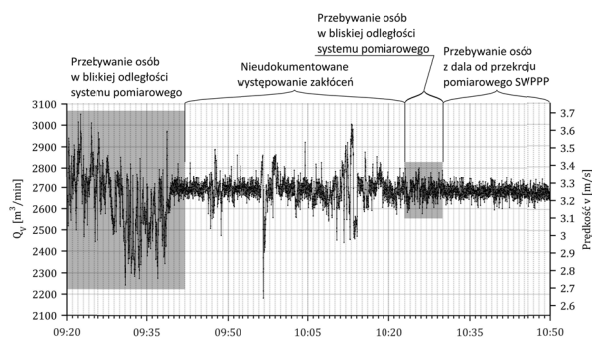
Wynik testu Wilcoxona dla eksperymentu 2 wskazuje na odrzucenie 25/47 przedziałów z danymi, stanowi to 53% długości rejestracji sygnału. Wynik testu Lepage'a wskazuje na odrzucenie 21/47 przedziałów z danymi, stanowi to 45% długości rejestracji sygnału.

Przedstawione wyniki odniesiono do zapisów z obserwacji miejsca pomiaru (Tab. 2 i Tab 3).

Porównano oznaczone przedziały w wyniku testów statystycznych z przedziałami oznaczonymi na podstawie obserwacji występowania zakłócenia (Rys. 11 i 12). Stwierdzono, że zarejestrowany przebieg strumienia objętości w eksperymencie 1, był w znacznej części niestacjonarny. Testy statystyczne wskazują tylko na niewielką część sygnału bez zakłóceń. Obserwacje pozwoliły wyszczególnić tylko 4 zakłócone fragmenty stanowiące 41,1% długości sygnału. Obserwacje w eksperymencie 2 nie były kompletne, co oznaczono na rysunku 12. Pozwoliły jednak wskazać fragment, w którym z pewnością pomiar nie był zakłócony obecnością osób w obszarze pomiaru. Wynik testu Shapiro-Wilka dla tego fragmentu potwierdza normalność rozkładu z prawdopodobieństwem 95%. Test Wilcoxona wskazuje na brak przesunięcia rozkładu, co wskazywałoby na stacjonarność pod względem wartości średniej. Natomiast w wyniku testu Lepage'a wyszczególniono dwa ostatnie przedziały podejrzewając je o zmianę skali rozkładu.



**Rys. 11.** Wynik pomiaru chwilowego strumienia objętości powietrza z zaznaczonymi obszarami zakłóceń sporządzonymi na podstawie tabeli 2. Eksperyment 1



**Rys. 12.** Wynik pomiaru chwilowego strumienia objętości powietrza z zaznaczonymi obszarami zakłóceń sporządzonymi na podstawie tabeli 3. Eksperyment 2

Tab. 4. Porównanie wyników analizy rejestracji dla eksperymentu 1

Rodzaj badania	Wyszczególniony fragment rejestracji z zakłóceniami
Test Shapiro-Wilka	85,6%
Test Wilcoxon	88%
Test Lepage'a	92%
Obserwacje	41,1%

Tab. 5. Porównanie wyników analizy rejestracji dla eksperymentu 2

Rodzaj badania	Wyszczególniony fragment rejestracji z zakłóceniami
Test Shapiro-Wilka	44,7%
Test Wilcoxon	53%
Test Lepage'a	45%
Obserwacje	32,2%

Obserwacje w najmniejszym stopniu pozwalają na dostrzeżenie zakłóceń pomiaru SWPPP. W większym stopniu test Shapiro-Wilka pozwala na odszukanie zakłóceń, gdyż często objawiają się one niestacjonarnością, a tym samym niegaussowskim rozkładem próby. Algorytmy z sekwencyjnymi testami Lepage'a i Wilcoxon w znacznej części właściwie oceniły fragmenty przebiegu zawierające zakłócenia. Niektóre przedziały nie zostały właściwie zakwalifikowane, co implikuje konieczność dalszych badań nad automatycznym wykrywaniem zakłóceń i niestacjonarności w pomiarze strumienia objętości.

Praca została wykonana w roku 2016 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

### Bibliografia

- [1] Rodionov Sergei.: *A brief overview of the regime shift detection methods*. University of Washington, Seattle USA.
- [2] Krach A., Krawczyk J., Kruczkowski J., Pałka T.: *Zmienność pola prędkości i strumienia objętości powietrza w wyrobiskach kopalń głębinowych*. Archiwum Górnictwa, Monografia, Nr 1, 2006.
- [3] Basseville M., Nikiforov I.: *Detection of Abrupt Changes: Theory and Application*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 528 pp.
- [4] Rodionov S.: *A sequential algorithm for testing climate regime shifts*. Geophys, Res. Lett., 31.
- [5] Yonetani T.: *Detection of long term trend, cyclic variation and step like change by the Lepage test*. J. Meteorol. Soc. Jap., 71, 415-418.
- [6] Klemiato M.: *Przegląd statystycznych metod detekcji nagłych zmian w przebiegach procesowych*. Pomiary-Automatyka-Robotyka 1/2016.
- [7] Krawczyk J., Kruczkowski J.: *Pomiary niestacjonarnych przepływów w wyrobisku kopalnianym*. 3 Szkoła Aerologii Górniczej, SITG, Katowice 2004

## Detection of sudden changes at air flow rate measurement using Multipoint Velocity Field Measurement System

### Abstract

This paper is attempt to application algorithmic methods of detection process events to recognize abrupt changes of air flow rate. The investigated algorithms uses sequential statistic tests. The author uses nonparametric Mann-Whitney-Wilcoxon and Lepage tests and additionally test for normality – Shapiro-Wilk. Results are amount of rejected ranges which are meeting zero hypothesis. The algorithms results were compared with observations of disturbances obtained during experiments. Studies are aimed at development of algorithms which ought to reject gross errors which appear during measurement air flow rate using Multipoint Velocity Field Measurement System.

**Keywords:** detection of abrupt changes, air flow rate, multipoint measurement