

# Nowe rozwiązania urządzeń do pomiaru pól prędkości i rozkładów stężenia metanu oraz wyniki badań porównawczych

JAKUB JANUS, JERZY KRAWCZYK, JANUSZ KRUCZKOWSKI, PIOTR OSTROGÓRSKI

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

## Streszczenie

Powietrze przepływające przez wyrobisko kopalni jest mieszaniną gazową. Często istotna jest znajomość składu tej mieszaniny i objętościowe udziały poszczególnych składników. W kopalniach w których występuje metan, jego objętościowy udział w strudze powietrza odpowiada za bezpieczeństwo prowadzenia wydobycia. Dotychczasowe badania przy pomocy opracowanego w IMG PAN systemu do pomiaru rozkładów pól prędkości (SWPPP), umożliwiającego także zmierzenie strumienia objętości powietrza, skłoniły autorów do przeanalizowania możliwości skonstruowania przenośnego urządzenia do zmierzenia strumienia objętości metanu. Nowe urządzenie mogłoby wykorzystywać sposób pomiaru strumienia metodą pola prędkości, i w połączeniu z metodą pomiaru średniej wartości stężenia metanu w przekroju wyrobiska umożliwiać bezpośrednie wyznaczanie strumienia objętości metanu. W opracowaniu przedstawiono wstępną koncepcję takiego rozwiązania wraz z wynikami analiz pomiarów prędkości lokalnych przy pomocy nowo skonstruowanego czujnika i porównaniu ich z wynikami pomiarów strumienia objętości wykonanych przy pomocy systemu SWPPP. Prowadzone badania mają na celu opracowanie efektywnych metod pomiaru strumienia objętości w rejonie ściany oraz modelu rozkładu koncentracji metanu w przekroju wyrobiska i na tej podstawie stworzenie algorytmów programowych dla pomiaru metanowości bezwzględnej wentylacyjnej w wyrobisku kopalni.

**Słowa kluczowe:** pole prędkości, anemometry skrzydełkowe, metanoanemometr, wielopunktowy pomiar pola prędkości powietrza, stężenie metanu

## 1. Wprowadzenie

Jednym ze sposobów badania rozkładu pola prędkości przepływającego gazu, jest rejestrowanie lokalnych prędkości przez rozmieszczone w płaszczyźnie przekroju przepływu czujniki pomiarowe. Ilość zastosowanych czujników jest kompromisem pomiędzy wymaganą dokładnością określenia rozkładu, a możliwie najmniejszą ingerencją w przepływ. Do pomiarów strumienia objętości powietrza w wyrobiskach kopalnianych wykorzystano system wielopunktowego pomiaru pola prędkości (SWPPP) opracowany w Instytucie Mechaniki Górniczej PAN (Krach i in., 2006). W celu umiejscowienia czujników anemometrycznych w wybranych punktach przekroju wyrobiska niezbędne jest zastosowanie odpowiedniej konstrukcji nośnej składającej się z czterech belek pionowych do których mocowane są anemometry, i dodatkowych, usztywniających belek poziomych. Anemometryczne czujniki skrzydełkowe montowane są na belkach pionowych. W zależności od wielkości przekroju istnieje możliwość dostosowania ilości czujników do rozmiarów wyrobiska.

Głównym celem prowadzonych badań jest wypracowanie metodyki wykonywania pomiarów strumienia objętości za pomocą anemometrów ręcznych i stacjonarnych, w szczególności opracowanie efektywnych metod pomiaru strumienia objętości w rejonie ściany. W przypadku kopalń metanowych bardzo istotna jest także znajomość strumienia metanu, szczególnie w rejonie ścian. Ponieważ strumień objętości metanu określa zależność:

$$Q_{\text{CH}_4} = \iint_A C_{\text{CH}_4} \vec{v} \cdot d\vec{A} \quad (1)$$

gdzie:

$C_{\text{CH}_4}$  – objętościowy udział metanu w danym punkcie przekroju  $A$ ,

$\vec{v}$  – wektor prędkości lokalnej w punkcie  $A$ ,

$d\vec{A}$  – zorientowany element przekroju  $A$ .

wydaje się zasadne, aby dotychczasowe badania strumienia objętości poszerzyć o badania strumienia metanu. W tym celu wystarczyłoby odpowiednie połączenie dotychczas wykorzystywanego w pomiarach czujnika anemometrycznego z czujnikiem stężenia metanu. Strumień objętości metanu definiowany jest w aerologii górniczej jako metanowość wentylacyjna. W zależności od potrzeb, a także rejonu dla którego ta wielkość jest wyznaczana stosuje się dodatkowe określenia (np. bezwzględna, rejonu ściany, kryterialna, itd.) (Krause, 2009). Stosuje się różne metody zmierzenia metanowości wentylacyjnej. W opinii autorów niniejszego opracowania dotychczasowe metody mogą jednak być obciążone dużymi niepewnościami, wynikającymi między innymi z rozdzielania w czasie i przestrzeni pomiaru dwóch wielkości istotnych dla wyznaczenia metanowości wentylacyjnej – prędkości przepływu i stężenia metanu. Należy zaznaczyć, że trzecią istotną do zmierzenia wielkością jak wynika ze wzoru (1) jest pole powierzchni przekroju wyrobiska i ten pomiar również wnosi istotną niepewność do niepewności złożonej wyznaczenia metanowości wentylacyjnej.

Wyniki pomiarów, które analizowane są w tym opracowaniu uzyskano między innymi dzięki wykorzystaniu odpowiednio zmodernizowanego, bezprzewodowego czujnika anemometrycznego stosowanego w systemie SWPPP. Czujnik ten został dodatkowo wyposażony w czujnik stężenia metanu. Umieszczenie wlotu komory pomiarowej czujnika stężenia metanu w obszarze odcinka pomiarowego czujnika skrzydełkowego pozwoliło na wykonywanie quasipunktowego pomiaru obu wielkości. W dalszej części opracowania w celu określenia nowoskonstruowanego czujnika będzie używana nazwa „metanoanemometr”. Uzyskane rezultaty pomiarów traktowane są jako wstępne i posłużą do stworzenia procedur wyznaczania średniego stężenia metanu w przekroju wyrobiska. Poniżej została przedstawiona koncepcja ręcznego urządzenia do pomiaru strumienia objętości wykorzystującego zmodyfikowany bezprzewodowy czujnik anemometryczny systemu SWPPP.

Pomiary strumienia objętości zostały wykonywane trzema sposobami:

- poprzez użycie systemu wielopunktowego pomiaru pola prędkości
- jednoniutowe pomiary punktowe metanoanemometrem
- trawersowanie anemometrem ręcznym

Uzyskane wyniki pomiarów rozkładów stężeń metanu będą przedmiotem kolejnych opracowań.

### 1.1. Koncepcja ręcznego urządzenia do pomiarów prędkości powietrza i stężenia metanu w wyrobisku kopalni w celu wyznaczenia strumienia objętości metanu

Na rysunku 1 pokazano koncepcję rozwiązania układowego realizującego pomiar strumienia objętości metanu w wyrobisku kopalni. Zasadniczym elementem jest skrzydełkowy czujnik anemometryczny zintegrowany z czujnikiem stężenia metanu. Czujnik może być wyposażony w lokalny wyświetlacz pozwalający mu na autonomiczną pracę bez obecności rejestratora. Ręczne urządzenie do wyznaczania strumienia objętości metanu w wyrobisku kopalni (metanowości wentylacyjnej) powinno umożliwiać pomiary metodą trawersu ciągłego w płaszczyźnie przekroju wyrobiska. Dlatego, jak pokazano na rysunku, zintegrowany czujnik pomiarowy jest oddzielony od jednostki rejestrującej w celu zmocowania go na wysięgniku. Łączność pomiędzy elementami urządzenia powinna odbywać się drogą radiową. Poza tym, zarówno czujnik jak i rejestrator, powinny mieć niezależne interfejsy USB do komunikowania się z komputerem. Rejestrator musi być wyposażony w oprogramowanie nie tylko kontrolujące przebieg procedury pomiarowej, ale umożliwiające komunikowanie się z operatorem w celu wydawania mu poleceń wynikających z przyjętego algorytmu pomiarowego. Polecenia mogłyby być wydawane przy pomocy sygnałów dźwiękowych lub przy wykorzystaniu syntetyzatora mowy.

Istotnym do rozwiązania zagadnieniem jest sposób wprowadzanie informacji o wielkości przekroju wyrobiska. Mogłoby to odbywać się metodą dotychczas stosowaną polegającą na pomiarze geometrii przekroju i wprowadzeniu danych przy pomocy klawiatury urządzenia.



Rys. 1. Urządzenie do wyznaczania strumienia objętości metanu w wyrobisku kopalni

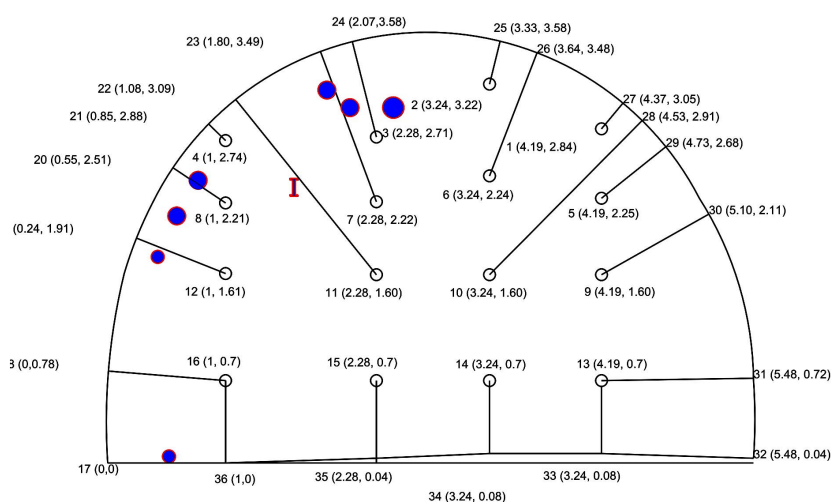
## 2. Wyniki badań porównawczych pomiaru prędkości powietrza w pochylni

### 2.1. Lokalizacja

Pomiary przy wykorzystaniu systemu wielopunktowego pomiaru pola prędkości zostały wykonane w pochylni o powierzchni przekroju  $15,9 \text{ m}^2$ , w rejonie eksploatowanej ściany, prowadzonej w obudowie ŁP. Ściana przewietrzania była systemem na Y, z doświeżaniem chodnika nadścianowego, do którego powietrze doprowadzono dwoma pochylniami wzdłuż calizny węglowej. Po przewietrzeniu zużyte powietrze odprowadzane jest przepokiem wznoszącym.

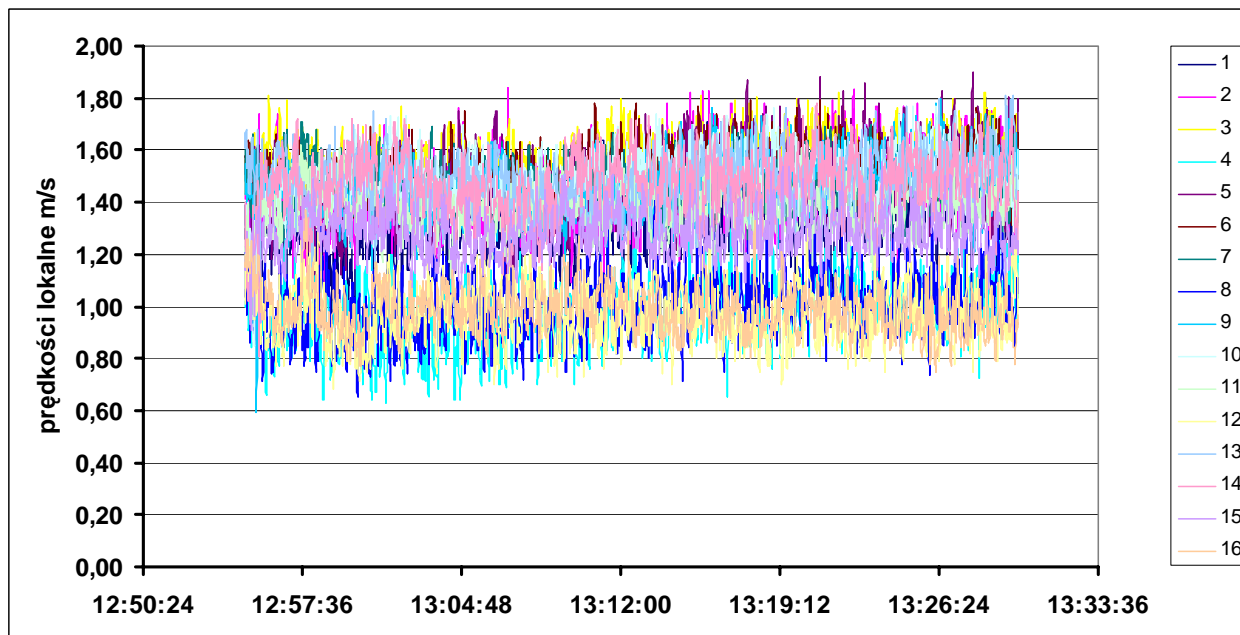
### 2.2. Wyniki pomiarów strumienia objętości przepływu

Do wyznaczenia strumienia objętości wykorzystano 16 czujników anemometrycznych systemu SWPPP, rozmieszczonych w wybranych punktach przekroju pochylni (rys. 2). Współrzędne czujników podano w metrach, w układzie prostokątnym o początku znajdującym się w lewym rogu wyrobiska. Na rysunku widoczne są także dodatkowe punkty pomiarowe w pobliżu ścian wyrobiska wprowadzane na potrzeby metody wyznaczania strumienia objętości przy wykorzystaniu metody pola prędkości (Krach i in., 2006). Dane dla tych czujników uzyskuje się przyjmując założenia co do profilu zmian prędkości od czujnika rzeczywistego do punktu brzegowego.



Rys. 2. Współrzędne rozmieszczenia czujników anemometrycznych w przekroju pochylni

Czujniki zostały zsynchronizowane czasowo, i z częstotliwością 1 Hz każdy równocześnie z pozostałymi zapisywał do pamięci daną pomiarową. Dane z pamięci zostały przesłane, po wyjechaniu na powierzchnię, do komputera. Na potrzeby niniejszego opracowania poddano analizie dane z rejestracji ustalonego stanu przepływu w przedziale czasowym od godz. 12:50 do 13:30 (rys. 3).



Rys. 3. Rejestracja prędkości lokalnych w przekroju pochylni

Z obliczeń wynika, że wartości średnie prędkości lokalnych w przekroju pochylni w analizowanym przedziale czasu, zmieniają się w zakresie od 0,97 m/s do 1,56 m/s.

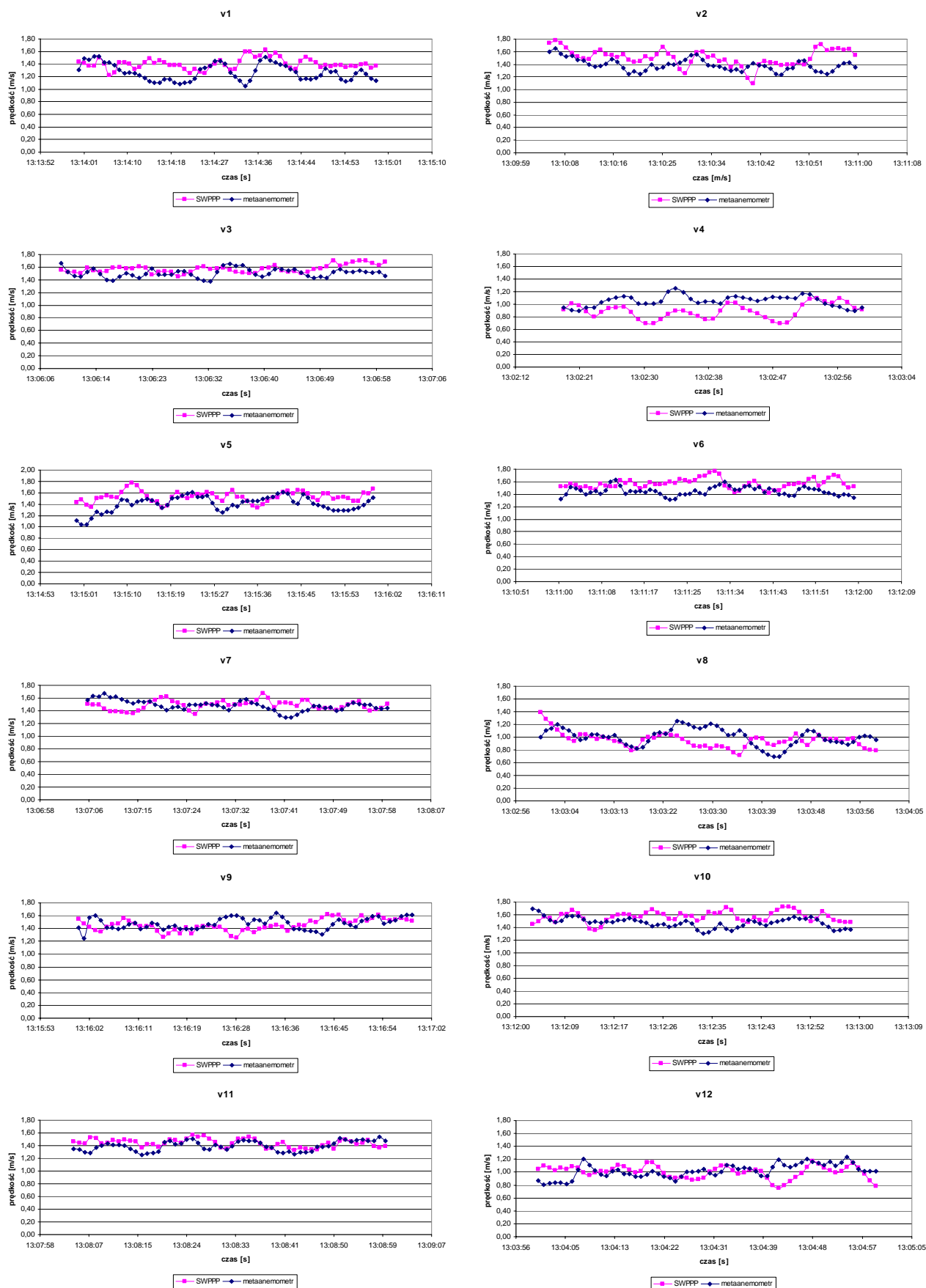
Po przeprowadzeniu obliczeń wykorzystujących metodę pola prędkości (Krach i in., 2006) uzyskano wartość strumienia objętości powietrza wynoszącą 1123 m<sup>3</sup>/min.

### 2.3. Porównanie jednoczasowych pomiarów czujnikiem metanoanemometrycznym i SWPPP

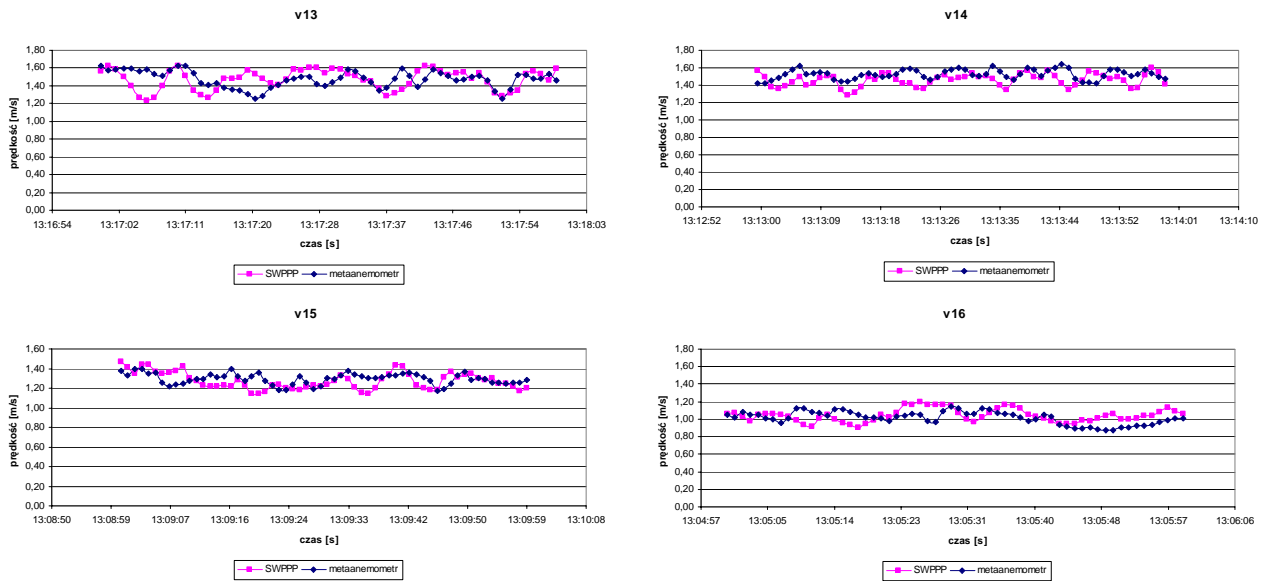
Podczas prowadzenia pomiarów z wykorzystaniem SWPPP zostały przeprowadzone jednoczasowe pomiary punktowe nowo skonstruowanym czujnikiem metanoanemometrycznym. Pomiar polegał na umieszczeniu metanoanemometru w pobliżu kolejnych czujników pomiarowych SWPPP i równoległej rejestracji w czasie jednej minuty zmian przepływu powietrza. Metodyka taka była już stosowana we wcześniejszych badaniach (Janus i in., 2010). Czujnik metanoanemometru był umieszczony tak, by jego oś była równoległa do osi czujnika systemu wielopunktowego i znajdowała się na tej samej wysokości nad spągiem. Średnice obudów porównywanych czujników wynosiły 0,1m, dlatego przy możliwie bliskim ułożeniu czujników miejsca pomiaru prędkości były odległe o około 0,12-0,15 m. Wyniki rejestracji zostały przedstawione w formie graficznej w postaci wykresów porównawczych. Rejestrację zmian prędkości metanoanemometrem i poszczególnymi anemometrami w SWPPP pokazano na rysunku 4.

Wyniki zostały pokazane poniżej w formie tabelarycznej tab. 1, przedstawiającej porównawcze wartości średniej prędkości z obu czujników oraz procentową różnicę pomiaru.

Wartości średnich prędkości zmierzonych przy pomocy czujnika metanoanemometrycznego zostały przeliczone na strumień objętości przepływu w chodniku nadścianowym. Otrzymany strumień został odniesiony do strumienia objętości obliczonego przy pomocy systemu SWPPP z przedziału czasowego, w którym były wykonywane pomiary porównawcze metanoanemometrem.



Rys. 4. Wykresy porównawcze jednoczesnych rejestracji metanoanemometrem i czujnikami SWPPP



Rys. 4 cd. Wykresy porównawcze jednoczynnowych rejestracji metanoanemometrem i czujnikami SWPPP

Tab. 1. Porównanie pomiarów średniej prędkości anemometrami SWPPP z metanoanemometrem

Nr anemometru z SWPPP	Prędkość średnia [m/s]		Różnica wskazań [%]
	anemometr SWPPP	metanoanemometr	
1	1,40	1,27	-9,5
2	1,51	1,39	-7,9
3	1,57	1,51	-4,0
4	0,89	1,05	18,2
5	1,53	1,40	-8,3
6	1,57	1,45	-7,6
7	1,49	1,48	-0,3
8	0,95	1,00	5,7
9	1,45	1,48	1,5
10	1,57	1,48	-6,0
11	1,44	1,39	-3,3
12	1,00	1,02	1,3
13	1,47	1,47	0,1
14	1,46	1,53	4,6
15	1,27	1,29	1,6
16	1,04	1,02	-2,6

Wyniki zostały pokazane w formie tabelarycznej, przedstawiającej porównawcze wartości strumienia objętości uzyskanego z systemu SWPPP oraz z pomiarów punktowych metanoanemometrem.

Tab. 2. Porównanie obliczeń strumienia objętości

	SWPPP	Metanoanemometr
Strumień objętości [m <sup>3</sup> /min]	1115	1266

## 2.4. Analiza wyników

Analiza uzyskanych wyników pomiarów prędkości anemometrami SWPPP i metanoanemometrem, wykazuje zgodność w zakresie przebiegu zmian prędkości. W niektórych punktach występują duże różnice zmierzonych średnich prędkości. Różnice te są w głównej mierze uzależnione od położenia punktu pomiarowego w przekroju chodnika kopalnianego. Największe rozbieżności pomiędzy wskazaniem metanoanemometru a anemometrem SWPPP zaobserwowano dla punktów 4 (rys. 4, wykres v4) gdzie różnica wynosi 18,2% oraz dla punktu 1 (rys. 4, wykres v1), różnica we wskazaniach jest równa -9,5%. Tak duże różnice średnich prędkości mogły być spowodowane położeniem punktów pomiarowych, które usytuowane były

przy obudowie łukowej typu ŁP w okolicach stropu, gdzie mogą występować gradienty prędkości. Badania symulacyjne wpływu obudowy ŁP na przepływ w chodniku kopalnianym wykazują znaczący wpływ elementów chodnika na rozkład profilu prędkości w przekroju całego chodnika kopalnianego (Janus i in., 2011). Stwierdzono duży wpływ struktur periodycznych na kształtowanie się grubszej warstwy przyściennej, co powoduje większe zaburzenia przepływu w okolicach obudowy. Należy zaznaczyć że pomiary prędkości przepływu metanoanemometrem nie były wykonywane dokładnie w punkcie pomiaru anemometrem SWPPP. Każdy punkt pomiarowy metanoanemometrem był przesunięty do wewnątrz przekroju chodnika kopalnianego o odległość umożliwiającą pomiar w płaszczyźnie pomiarowej systemu SWPPP, lecz nie przekraczającej 15 centymetrów od punktu pomiarowego anemometru SWPPP.

Równie duże różnice średnich prędkości zaobserwowano dla niektórych skrajnych czujników przy ociosach oraz spągu: 5 punkt (rys 4, wykres v5), różnica -8,3%, punkt 2 (rys. 4, wykres v2), gdzie różnica wynosi -7,9%. Z kolei dla punktu 13 (rys. 4, wykres v13) znajdującego się w narożu przekroju chodnika różnica wskazań jest najmniejsza i wynosi 0,1%.

Dla czujników położonych w środkowej części przekroju chodnika kopalnianego różnice przedstawiają się następująco: punkt 6 (rys 4, wykres v5) różnica wynosi -7,6%, punkt 7 (rys. 4, wykres v7) różnica -0,3%, punkt10 (rys. 4, wykres v10) różnica -6% oraz punkt 11 (rys. 4, wykres v11) gdzie różnica wynosi -3,3%.

Strumień objętości uzyskany w oparciu o jednoczesne pomiary punktowe metanoanemometrem jest zbliżony do uzyskanego z SWPP. Strumień objętości wyznaczony z pomiarów punktowych wynosi 1226 m<sup>3</sup>/min, natomiast obliczony przez systemu SWPPP jest równy 1115 m<sup>3</sup>/min, co daje różnicę 11,8%.

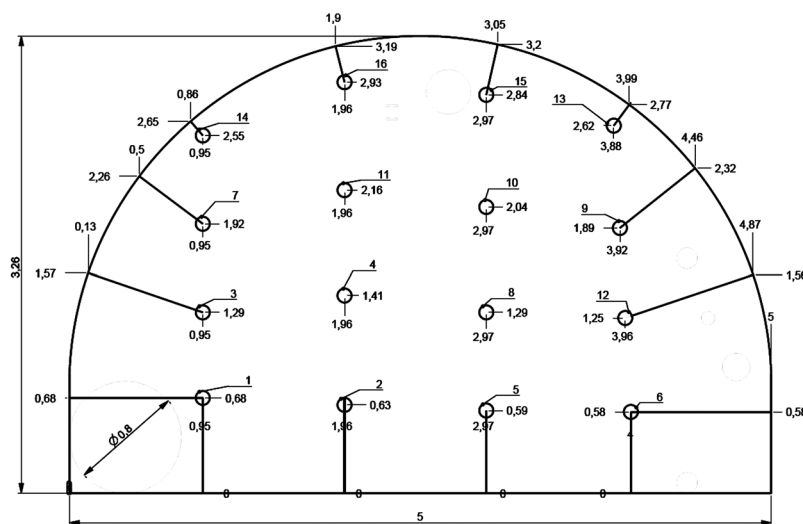
### 3. Wyniki badań porównawczych pomiaru prędkości w chodniku nadścianowym

#### 3.1. Lokalizacja

Pomiary przy wykorzystaniu systemu wielopunktowego pomiaru pola prędkości zostały wykonane w rejonie eksploatowanej ściany, w chodniku nadścianowym prowadzonym w obudowie ŁP. Ściana była przewietrzana systemem na U od granic pola eksploatacyjnego. Świeże powietrze doprowadzane chodnikiem podścianowym wzdłuż calizny węglowej. Po przewietrzeniu ściany zużyte powietrze odprowadzane było chodnikiem nadścianowym wzdłuż calizny węglowej.

#### 3.2. Wyniki pomiarów strumienia objętości przepływu systemem wielopunktowego pomiaru pola prędkości i metodą trawersowania

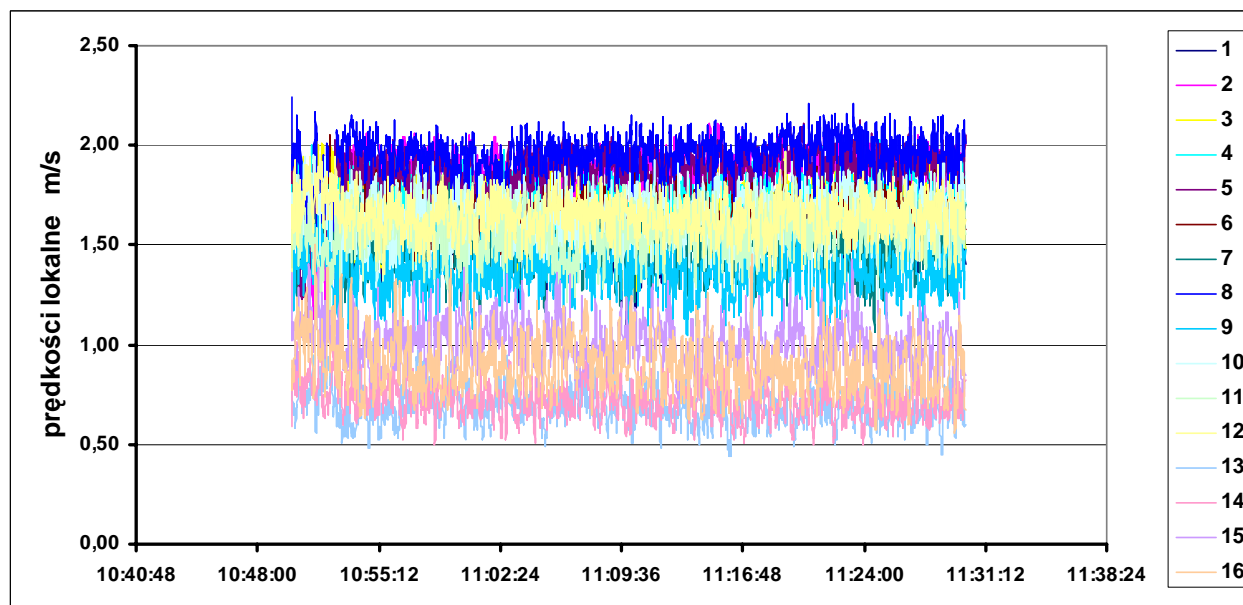
Do wyznaczenia strumienia objętości wykorzystano 16 czujników anemometrycznych systemu SWPPP, rozmieszczonych w wybranych punktach przekroju chodnika nadścianowego (rys. 5). Współrzed-



Rys. 5. Współrzedne rozmieszczenia czujników anemometrycznych w przekroju chodnika nadścianowego

ne czujników (rzeczywistych – wewnątrz wyrobiska i dodatkowych – przy brzegach ) podano w metrach, w układzie prostokątnym o początku znajdującym się w lewym rogu wyrobiska.

Czujniki zostały zsynchronizowane czasowo, i z częstotliwością 1 Hz każdy równocześnie z pozostałymi, zapisywał do pamięci daną pomiarową. Dane z pamięci czujników zostały przesłane, po wyjechaniu na powierzchnię, do komputera. Na potrzeby niniejszego opracowania poddano analizie dane z rejestracji ustalonego stanu przepływu w przedziale czasowym od godz. 10:50 do 11:30 (rys. 6).



Rys. 6. Rejestracja prędkości lokalnych w przekroju chodnika nadścianowego

Z obliczeń wynika, że wartości średnie prędkości lokalnych w przekroju chodnika nadścianowego, w analizowanym przedziale czasu, zmieniają się w szerokim w zakresie od 0,69 m/s do 1,5 m/s.

Po przeprowadzeniu obliczeń wykorzystujących metodę pól prędkości, uzyskano wartość średnią strumienia objętości powietrza wynoszącą 1099 m<sup>3</sup>/min.

Pomiar strumienia objętości przepływu został również wykonany metodą trawersowania dającą wprost wartość średniej prędkości powietrza w chodniku nadścianowym. Obliczenie strumienia objętości polega na pomnożeniu tej wartości przez pole powierzchni przekroju chodnika.

Wykonano po dwa pomiary metodą trawersowania

- przy użyciu anemometru kopalnianego  $\mu$ AS4 przez pracownika kopalni, pomiary były wykonane trawersem pionowym bez wysięgnika za systemem wielopunktowym,
- przy użyciu metanoanemometru przez pracownika IMG PAN, pomiary były wykonywane trawersem pionowym około 2 m za czujnikami SWPPP, metanoanemometr zawieszony na wahliwym przegubie wysięgnika.

Przekrój chodnika potrzebny do obliczenia strumienia objętości przepływu został obliczony za pomocą programu służącego do analizy danych uzyskanych z SWPPP na podstawie pomiarów geometrycznych położenia poszczególnych czujników.

Celem porównania skuteczności metody trawersowania, wyniki zostały porównane do strumienia objętości obliczonego przez SWPPP dla przedziału czasowego odpowiadającego czasowi wykonywania każdego pomiaru metodą trawersowania.

Wyniki zostały zaprezentowane w formie tabelarycznej, przedstawiającej porównawcze wyniki pomiarów strumienia objętości metodą trawersowania, które odniesiono do strumienia objętości obliczonego przy pomocy SWPPP dla danego przedziału czasowego.



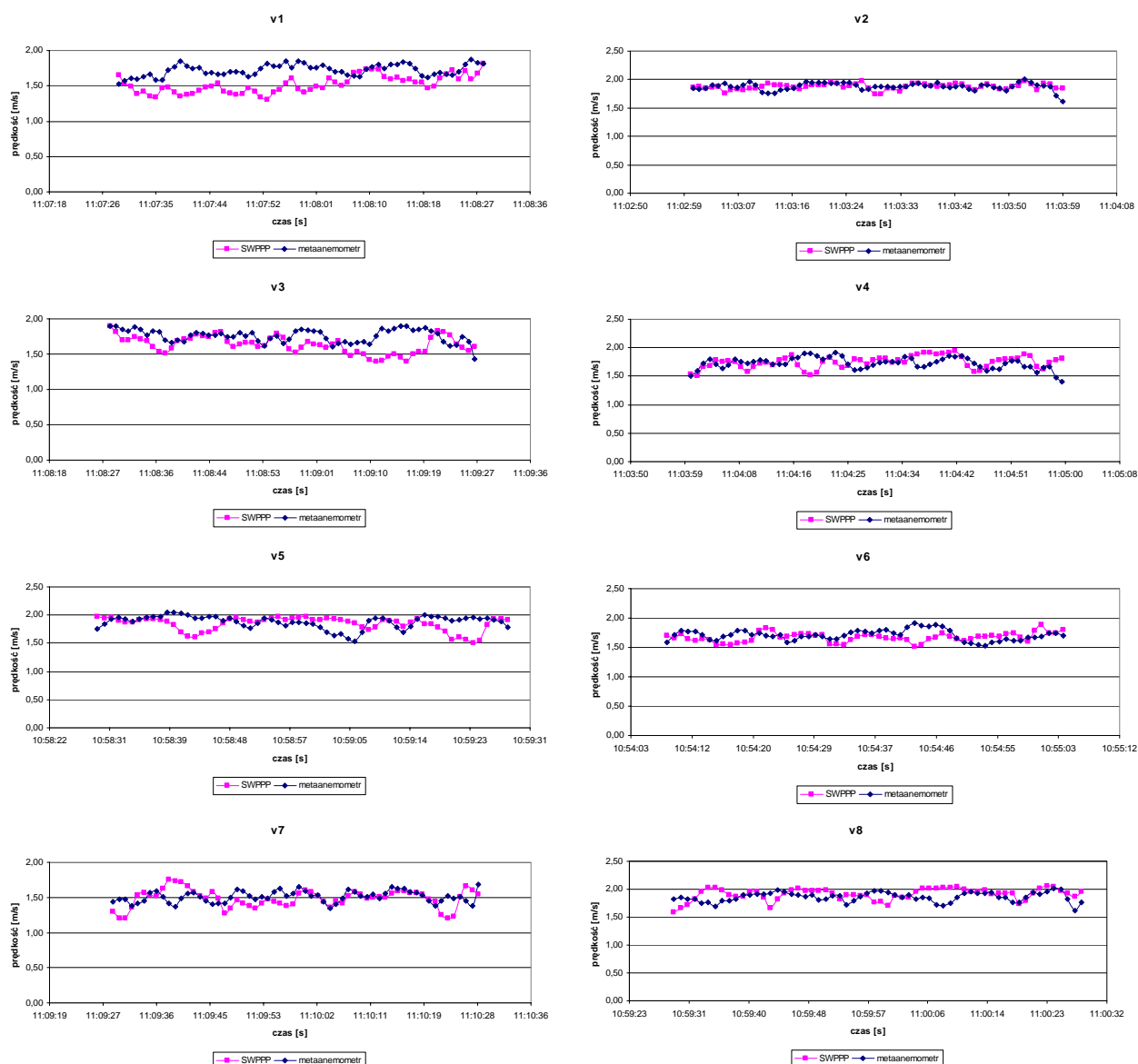
Tab. 3. Porównawcze wyniki pomiarów strumienia objętości wykonanych metodą trawersowania i systemem SWPPP

	Metoda trawersowania			
	metanoanemometrem przez pracownika IMG		anemometrem $\mu$ AS4 przez pracownika kopalni	
	trawers I	trawers II	trawers I	trawers II
średnia prędkość przepływu [m/s]	1,54	1,47	1,74	1,72
pole przekroju chodnika [m <sup>2</sup> ]	13,39			
strumień objętości [m <sup>3</sup> /min]	1 237	1 181	1 398	1 382
strumień objętości SWPPP dla danego przedziału czasowego [m <sup>3</sup> /min]	1 097	1 103	1 114	1 109

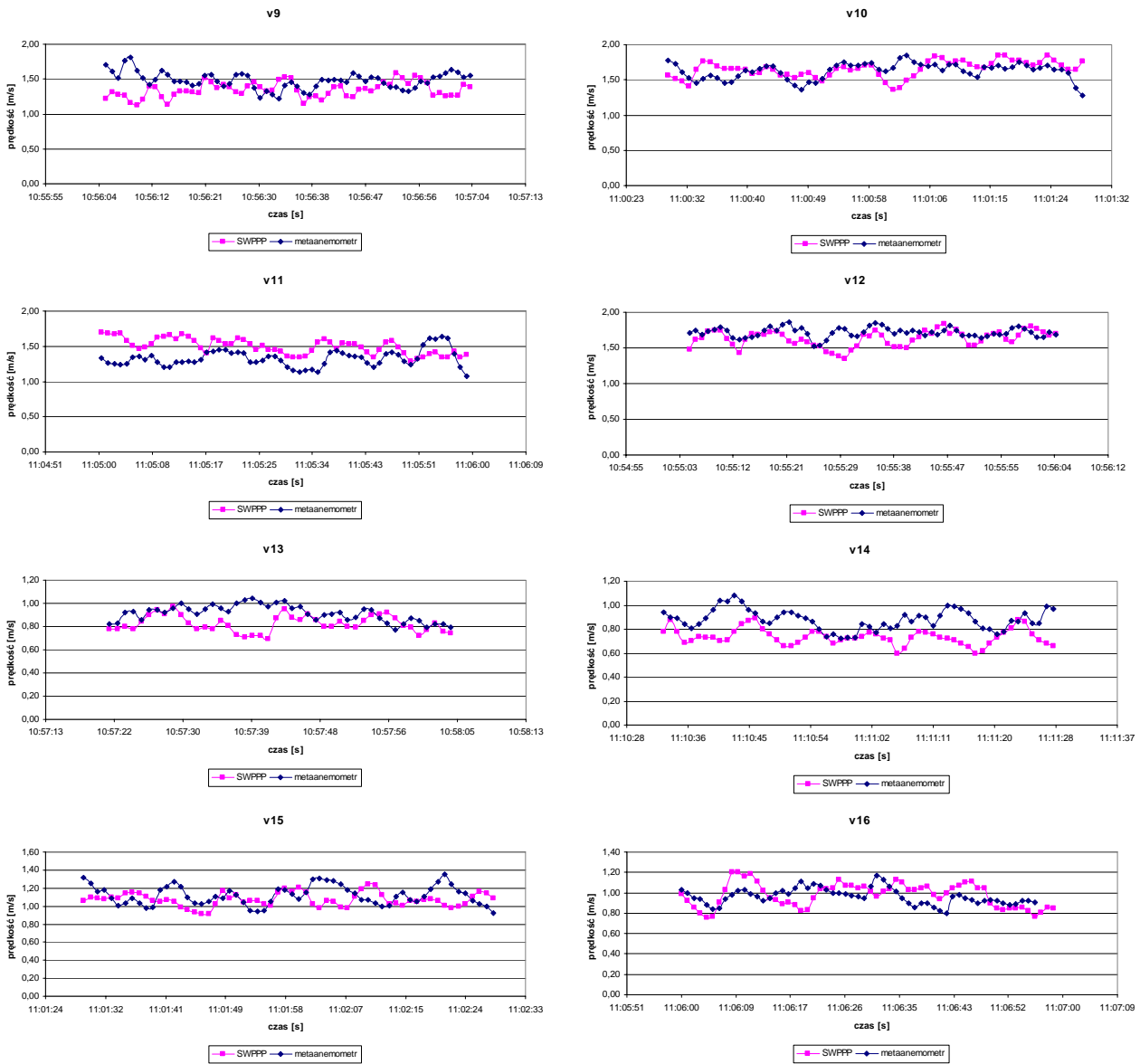
### 3.3. Porównanie jednoczasowych pomiarów czujnikiem metanoanemometrycznym i SWPPP

Podczas wykonywania pomiarów za pomocą SWPPP zostały przeprowadzone jednoczasowe pomiary punktowe czujnikiem metanoanemometrycznym w analogiczny sposób jak omówiony w pkt. 2.3. Rejestrację zmian prędkości metanoanemometrem i poszczególnymi anemometrami SWPPP pokazano na rysunku 7.

Wyniki zostały pokazane w formie tabelarycznej, przedstawiającej porównawcze wartości średnich prędkości oraz procentową różnicę pomiaru.



Rys. 7. Wykresy porównawcze jednoczasowych rejestracji metanoanemometrem i czujnikami SWPPP



Rys. 7 cd. Wykresy porównawcze jednoczyninutowych rejestracji meteoanemometrem i czujnikami SWPPP

Tab. 4. Porównanie wyników pomiarów średniej prędkości anemometrami SWPPP i meteoanemometrem

Nr anemometru z SWPPP	Prędkość średnia [m/s]		Różnica wskazań [%]
	anemometr SWPPP	meteoanemometr	
1	1,52	1,72	13,2
2	1,88	1,88	0,1
3	1,63	1,76	7,8
4	1,75	1,73	-1,2
5	1,84	1,88	2,0
6	1,67	1,71	2,2
7	1,48	1,51	1,7
8	1,91	1,86	-2,7
9	1,35	1,48	10,0
10	1,65	1,62	-1,7
11	1,50	1,33	-11,3
12	1,63	1,72	5,4
13	0,82	0,96	16,8
14	0,74	0,91	23,9
15	1,07	1,12	4,4
16	0,98	0,96	-1,4

Wartości średnich prędkości zmierzonych przy pomocy czujnika metanoanemometrycznego zostały przeliczone na strumień objętości przepływu w chodniku nadścianowym. Otrzymany strumień został odniesiony do strumienia objętości obliczonego przy pomocy systemu SWPPP z przedziału czasowego, w którym były wykonywane pomiary porównawcze metanoanemometrem.

Wyniki zostały pokazane w formie tabelarycznej, przedstawiającej porównawcze wartości strumienia objętości uzyskanego z systemu SWPPP oraz z pomiarów punktowych metanoanemometrem.

Tab. 5. Porównanie obliczeń strumienia objętości

	SWPPP	Metanoanemometr
Strumień objętości [m <sup>3</sup> /min]	1094	1212

### 3.4. Analiza wyników

Analiza uzyskanych wyników pomiarów prędkości anemometrami SWPPP i metanoanemometrem, wykazuje zgodność w zakresie przebiegu zmian prędkości. W niektórych punktach występują duże różnice zmierzonych średnich prędkości. Różnice te są w głównej mierze uzależnione od położenia punktu pomiarowego w przekroju chodnika kopalnianego. Podobnie jak w przypadku wyników uzyskanych z pochylni, największe rozbieżności pomiędzy wskazaniem metanoanemometru a anemometrem SWPPP zaobserwowano dla punktów położonych przy obudowie ŁP i w okolicach stropu. Różnica wskazań średnich prędkości dla punktu 14 (rys. 7, wykres v14) wynosi 23,9%, a dla punktu 13 (rys. 7, wykres v13), wynosi -16,8%.

Również duże różnice w wynikach pomiarów średnich prędkości zaobserwowano dla niektórych skrajnych czujników przy ociosach oraz spągu: punkt 1 (rys. 7, wykres v1), różnica 13,2% oraz punkt 9 (rys. 7, wykres v9), gdzie różnica wynosi 10%. Z kolei dla punktu 2 (rys. 7, wykres v2) znajdującego się przy spągu chodnika różnica wskazań jest najmniejsza i wynosi 0,1%.

Dla czujników położonych w środkowej części przekroju chodnika kopalnianego różnice przedstawiają się następująco: punkt 4 (rys. 7, wykres v4) różnica wynosi -1,2 %, punkt 8 (rys. 7, wykres v8) różnica -2,7%, punkt 10 (rys. 7, wykres v10) różnica -1,7% oraz punkt 11 (rys. 7, wykres v11) gdzie różnica wynosi -11,3%.

Analiza uzyskanych wyników pomiaru strumienia objętości przez trawersowanie oraz przez system SWPPP w czasie odpowiadającym trawersowaniu, wykazuje stosunkowo niewielkie różnice pomiędzy pomiarami metanoanemometrem wykonywanymi przez pracownika IMG PAN a systemem SWPPP. Podczas pierwszych pomiarów trawersowych różnica wskazań wyniosła 12,8%, podczas drugiego trawersowania różnica ta spadła do 7,1%. Trawersowanie wykonane anemometrem  $\mu$ AS4 przez pracownika kopalni wykazuje większą różnicę w stosunku do systemu SWPPP, dochodzącą do 25,5%. Strumień objętości uzyskany w oparciu o jednoniutowe pomiary punktowe metanoanemometrem jest zbliżony do uzyskanego z SWPPP. Strumień objętości wyznaczony z pomiarów punktowych wynosi 1212 m<sup>3</sup>/min, natomiast obliczony przez system SWPPP jest równy 1094 m<sup>3</sup>/min, co daje różnicę 10,8%.

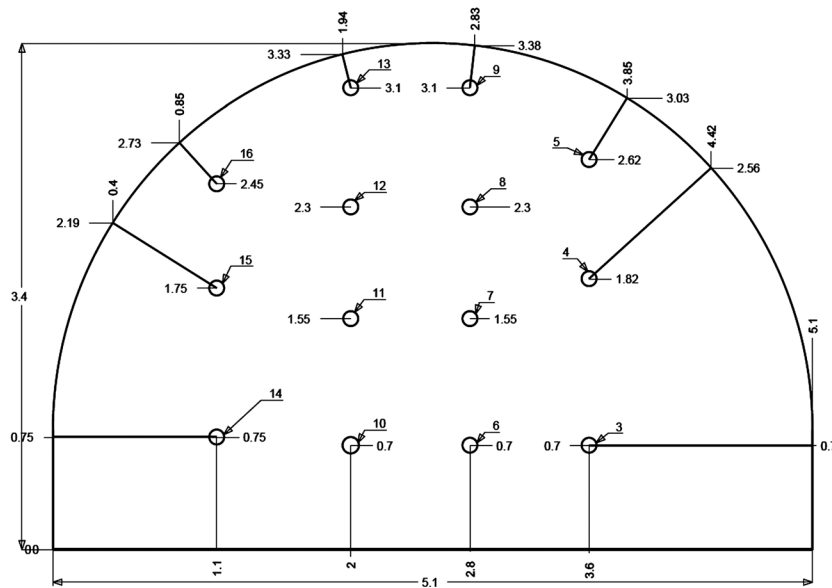
## 4. Wyniki badań porównawczych pomiaru prędkości w przecince wentylacyjnej

### 4.1. Lokalizacja

Pomiary przy wykorzystaniu systemu wielopunktowego pomiaru pola prędkości zostały wykonane w rejonie eksploatowanej ściany, w przecince wentylacyjnej prowadzonej w obudowie ŁP. Ściana była przewietrzana systemem na U od granic pola eksploatacyjnego, świeże powietrze doprowadzane chodnikiem podścianowym wzdłuż calizny węglowej. Po przewietrzeniu ściany zużyte powietrze odprowadzane chodnikiem nadścianowym wzdłuż calizny węglowej.

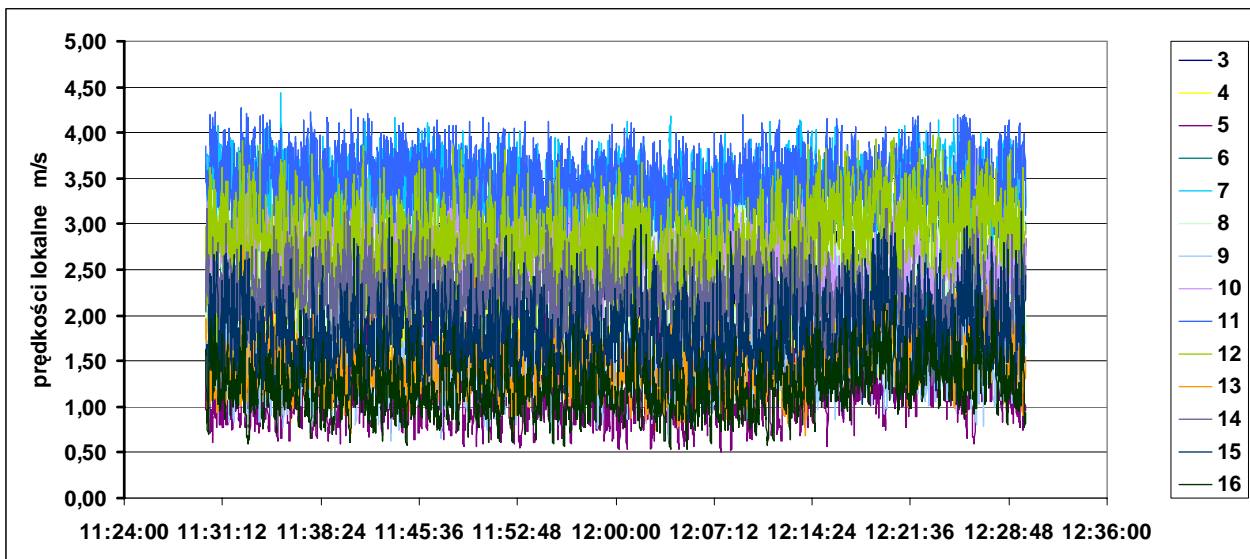
### 4.2. Wyniki pomiarów strumienia objętości przepływu

Do wyznaczenia strumienia objętości wykorzystano 14 czujników metanoanemometrycznych, rozmieszczonych w wybranych punktach przekroju przecinki wentylacyjnej (rys. 8). Współrzędne czujników podano w metrach, w układzie prostokątnym o początku znajdującym się w lewym rogu wyrobiska. Na rysunku widoczne są dodatkowe czujniki wymagane przy stosowaniu metody pola prędkości do obliczania strumienia objętości.



Rys. 8. Współrzędne rozmieszczenia czujników metanoanemometrycznych w przekroju przecinki wentylacyjnej

Czujniki zostały zsynchronizowane czasowo, i z częstotliwością 1 Hz każdy równocześnie z pozostałymi, zapisywał do pamięci daną pomiarową. Dane z pamięci czujników zostały przesłane, po wyjechaniu na powierzchnię, do komputera. Na potrzeby niniejszego opracowania poddano analizie dane z rejestracji ustalonego stanu przepływu w przedziale czasowym od godz. 11:30 do 12:30, (rys. 9).



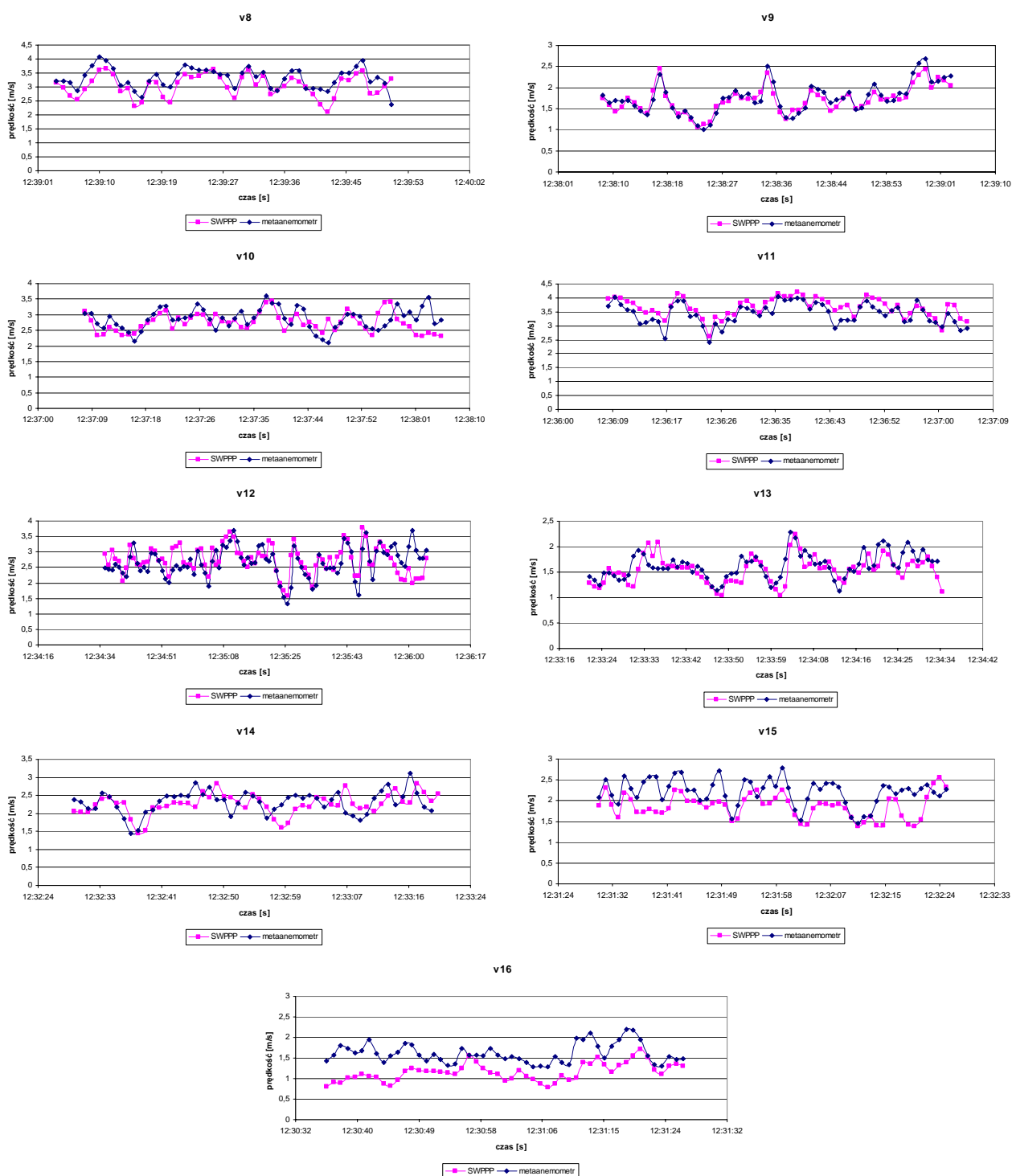
Rys. 9. Rejestracja prędkości lokalnych w przekroju przecinki wentylacyjnej

Z obliczeń wynika, że wartości średnie prędkości lokalnych w przekroju przecinki wentylacyjnej w analizowanym przedziale czasu, zmieniają się w zakresie od 1,19 m/s do 3,48 m/s.

Po przeprowadzeniu obliczeń wykorzystujących metodę pola prędkości uzyskano wartość strumienia objętości powietrza równą wynoszącą 1604 m<sup>3</sup>/min.

### 4.3. Porównanie jednoczesnych pomiarów czujnikiem metanoanemometrycznym i SWPPP

Podczas prowadzenia pomiarów za pomocą SWPPP zostały przeprowadzone jednoczesne pomiary punktowe czujnikiem metanoanemometrycznym w analogiczny sposób jak omówiony w pkt. 2.3. Ze względu na ograniczenia czasowe związane z ruchem kopalni, jednoczesny pomiar prędkości był możliwy tylko dla 9 punktów pomiarowych. Rejestrację zmian prędkości metanoanemometrem i czujnikami SWPPP pokazano na rysunku 10.



Rys. 10. Wykresy porównawcze jednoczesnych rejestracji metanoanemometrem i czujnikami SWPPP

Wyniki zostały pokazane w formie tabelarycznej tab.5 przedstawiającej porównanie wartości średnich prędkości oraz procentową różnicę pomiaru.

Tab. 6. Porównanie wartości średnich prędkości metanoanemometrów SWPPP z metanoanemometrem ręcznym

Nr metanoanemometru z SWPPP	Prędkość średnia [m/s]		Różnica wskazań [%]
	metanoanemometr SWPPP	metanoanemometr	
8	3,05	3,32	8,7
9	1,71	1,75	2,7
10	2,75	2,87	4,3
11	3,66	3,43	-6,4
12	2,74	2,67	-2,6
13	1,54	1,63	5,4
14	2,25	2,31	2,6
15	1,86	2,21	18,7
16	1,15	1,61	39,7

#### 4.4. Analiza wyników

Analiza uzyskanych wyników wskazań średnich prędkości metanoanemometrów SWPPP z metanoanemometrem ręcznym wykazuje dużą zgodność w zakresie zarejestrowanych zmian prędkości. W niektórych punktach występują duże różnice zmierzonych średnich prędkości. Różnice te są w głównej mierze uzależnione od położenia punktu pomiarowego w przekroju chodnika kopalnianego. Podobnie jak w przypadku wyników uzyskanych z pochylni największe rozbieżności pomiędzy wskazaniem metanoanemometru a czujnikami SWPPP zaobserwowano dla punktów położonych przy obudowie ŁP w okolicach stropu i ociosu. Różnica wskazań średnich prędkości dla punktu 16 (rys. 10, wykres v16) wynosi 39,7%, a dla punktu 15 (rys. 10, wykres v16), wynosi 18,7%.

Dla czujników położonych w środkowej części przekroju chodnika kopalnianego różnice przedstawiają się następująco: punkt 11 (rys. 10, wykres v11) różnica wynosi -6,4%, a dla punkt 12 (rys. 10, wykres v12) różnica ta wynosi -2,6%.

### 5. Podsumowanie

Przeprowadzono badania porównawcze wskazań nowoskonstruowanego czujnika metanoanemometrycznego i anemometrów wielopunktowego systemu pomiaru pola prędkości. Wszystkie pomiary porównawcze oraz pomiary strumienia objętości powietrza zostały wykonane w rejonach ścian wydobywczych różnych kopalń. W celu porównania metod wyznaczania strumienia objętości przepływu wykonano pomiary metodą trawersowania. Pomiary te wykonywane były przez pracownika służb wentylacyjnych kopalni przy użyciu anemometru ręcznego i przez pracownika IMG przy użyciu czujnika metanoanemometrycznego z wysięgnikiem.

Wyniki porównawcze zmierzonych średnich prędkości, metanoanemometrem i czujnikami systemu SWPPP, wykazują zależność od miejsca położenia punktu pomiarowego w przekroju chodnika kopalnianego. Punkty pomiarowe, w których była mierzona chwilowa prędkość przyływu, położone w okolicach obudowy ŁP charakteryzowały się różnicami wskazań dochodzącymi do 39 %. Powodem takich różnic jest wpływ obudowy na kształtowanie się warstwy przyściennej powodujący poszerzenie strefy znaczących gradientów prędkości. Różnice wskazań pomiędzy czujnikami w okolicach środka przekroju chodnika wynoszą średnio około 5%.

Pomiar strumienia objętości metodą trawersowania potwierdza znane zalecenia odnośnie sposobu prowadzenia takiego pomiaru. W wyniku trawersowania wykonanego przez pracownika kopalni przy użyciu anemometru  $\mu$ AS4 bez wysięgnika, otrzymano istotną różnicę obliczonego strumienia objętości, w stosunku do strumienia obliczonego przez system SWPPP. Różnica ta wyniosła około 25%. Tak duża różnica jest między innymi spowodowana nie korzystaniem z wysięgnika, przez co nie jest możliwe wykonanie pomiarów w okolicach stropu chodnika. Trawersowanie wykonywane przez pracownika IMG przy wykorzystaniu metanoanemometru zawieszono na wysięgniku, dzięki któremu był możliwy dokładny pomiar prędkości przepływu w całym przekroju, dało strumień objętości różniący się o 12,8% i 7,1% od strumienia obliczonego przez system SWPPP. Obliczono strumień objętości korzystając z uśrednionych prędkości jed-

nominutowego pomiaru metanoanemometrem w pobliżu punktów pomiarowych SWPPP. Różnica wskazań strumienia objętości wynosi 10,8%.

Zaproponowano koncepcję ręcznego miernika metanowości bezwzględnej wentylacyjnej. Ze względu na konieczność wypracowania obarczonej jak najmniejszą niepewnością procedury pomiaru wartości średniego stężenia metanu w przekroju wyrobiska, niezbędne są dalsze pomiary porównawcze w warunkach kopalnianych. Będące w fazie prototypowej urządzenie stanowi punkt wyjścia do wprowadzenia na kopalnie nowej procedury pomiaru metanowości wentylacyjnej, wraz ze specjalnie skonstruowanym dla niej miernikiem. Procedura ta w ocenie autorów, będzie szybsza (wynik dostępny bezpośrednio po pomiarze) i znacznie dokładniejsza niż stosowane dotychczas metody.

Praca została wykonana w roku 2012 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

## Literatura

1. Janus J., Krawczyk J., Kruczkowski J., 2010: *Pomiary strumienia objętości przepływu w aspekcie dynamiki anemometrycznych czujników pomiarowych*, Prace Instytutu Mechaniki Górników PAN, Tom 12, nr 1-4. Kraków.
2. Janus J., Krawczyk J., Kruczkowski J., 2011: *Porównanie symulacji numerycznych z wynikami pomiarów rozkładów pól prędkości w przekrojach chodników kopalnianych*, Prace Instytutu Mechaniki Górników, Kraków 2011 vol. 14, Nr 1-4.
3. Krach A., Krawczyk J., Kruczkowski J., Pałka T., 2006: *Zmienność pola prędkości i strumienia objętości powietrza w wyrobiskach kopalnianych kopalń głębinowych*, Arch. Min. Sci., Monografia, Nr 1.
4. Krause E., 2009: *Ocena i zwalczanie zagrożenia metanowego w kopalniach węgla kamiennego*, Prace Naukowe GIG, Katowice.

## New solutions used in devices for measurement of velocity fields and methane concentration distribution and results of comparative tests

### Abstract

Air flowing in the galleries is a mixture of gases. Of particular importance is the actual composition of this gas and volumetric proportions of its major components. In collieries where methane is present, its volumetric proportion in the stream of air determines the safety of mining operations. Results of measurements taken so far with the use of SWPPP (velocity field distribution measurements) system, developed at the Strata Mechanics Research Institute and designed to measure velocity field distributions and volumetric flow rates of air, have prompted the authors investigate the feasibility of fabricating a portable device for measuring the volumetric flow rate of methane. This new device would utilise the principle of velocity field measurements combined with the method of measuring the average methane concentration in the gallery cross-section, thus allowing the volumetric flow rate of methane to be determined directly. This paper provides a conceptual design of this solution and results of local velocity measurements taken with a newly designed sensor. The results are compared with measurement data obtained with the use of the SWPPP system. the aim of the research work is to develop effective methods of volumetric flow rate measurements in the longwall zones and models of methane concentrations in the gallery cross-section. On that basis algorithms would be developed to support methane capacity measurements in galleries for mine for ventilation purposes.

**Keywords:** velocity field, vane anemometers, methane-anemometer, multi-point airflow velocity field measurement, methane concentration