

# Ocena przydatności danych zbieranych przez czujniki systemu gazometrycznego dla celów modelowania numerycznego przepływu powietrza w kopalnianej sieci wentylacyjnej

STANISŁAW WASILEWSKI, JERZY KRAWCZYK, JAKUB JANUS

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

## Streszczenie

Opracowanie i aktualizacja modelu numerycznego kopalni wymaga wykonywania szeregu pomiarów zarówno parametrów geometrycznych wyrobisk jak i parametrów fizyko-chemicznych powietrza w tym prędkości, ciśnienia i temperatury oraz składu chemicznego powietrza płynącego w sieci wyrobisk.

Systemy gazometrii automatycznej stosowane w kopalniach węgla kamiennego dostarczają wielu informacji dotyczących bieżącego stanu parametrów powietrza w wyrobiskach kopalni. Obecnie kopalnie stosują ponad 1200 anemometrów (średnio około 40 w kopalni) oraz ponad 250 czujników ciśnienia barometrycznego (średnio około 8-9 w kopalni) czy ponad 4500 metanomierzy (średnio około 150 w kopalni).

Wydaje się obecnie możliwe opracowanie metodyki wykorzystania bogatej bazy danych rejestrowanych w systemach gazometrii automatycznej jako uzupełnienie pomiarów in-situ zarówno do celów tworzenia modeli numerycznych jak i ich weryfikacji. Takie zastosowanie danych z czujników stacjonarnych systemu gazometrii musi uwzględniać własności metrologiczne tych czujników, specyficzne wymagania dla stosowania czujników stacjonarnych w systemach gazometrii automatycznej.

W artykule wybrano wielkości fizyczne, które potencjalnie mogą być określane przy pomocy danych z czujników systemu gazometrii. Określono również zagadnienia, w których dane z czujników mogą być wykorzystane dla programu **Ventgraph** i metody objętości skończonej.

**Słowa kluczowe:** monitoring, wentylacja kopalń, pomiary wentylacyjne, modelowanie numeryczne

## 1. Wstęp

Praktyka górnicza pokazuje, że opracowanie i aktualizacja modelu numerycznego kopalni wymaga wykonania pomiarów parametrów powietrza przez grupy pomiarowców w czasie wielogodzinnych sesji z wykorzystaniem „wędrujących przyrządów”. Grupy pomiarowe przemieszczają się w sieci wyrobisk po wcześniej ustalonych trasach rejestrując wyniki lokalnych i chwilowych pomiarów w wybranych punktach. Jako bazę pomiarową, w czasie tych sesji, stosuje się precyzyjne przyrządy ręczne, a w szczególności mierniki ciśnienia barometrycznego typu  $\mu\text{BAR}$ , anemometry ręczne typu  $\mu\text{AS}$ , czujniki temperatury (higrometry i psychrometry). Rozwój specjalistycznej aparatury pomiarowej pozwala dziś rejestrować czas wykonanych pomiarów co umożliwia późniejszą ich synchronizację, która jest konieczna z uwagi na niejednoczesność pomiarów w różnych punktach sieci wyrobisk. Postęp jaki nastąpił w zakresie aparatury pomiarowej pozwala na synchronizację czasową prowadzonych pomiarów ciśnienia powietrza na różnych drogach przez grupy pomiarowe w stosunku do ciśnienia rejestrowanego na powierzchni. Równocześnie z pomiarami parametrów powietrza wykonywane są pomiary geometrii wyrobisk, a w szczególności przekroju wyrobisk koniecznych do wyznaczenia strumienia objętości powietrza.

Obserwując rozwój systemów gazometrii automatycznej stosowanych w polskich kopalniach węgla (Wasilewski, 2012) wydaje się zasadne pytanie czy istnieje możliwość wykorzystania rejestracji czujników stacjonarnych w systemach automatycznych w czasie aktualizacji modelu numerycznego sieci wentylacyjnej kopalni prowadzonej przez grupy pomiarowców. Czujniki mierzą lokalne parametry powietrza w przekrojach

ich zabudowy, ale co istotne pomiary są rejestrowane „on-line” w czasie trwania całego cyklu pomiarów wykonywanych okresowo przez grupy pomiarowców.

Istotą systemów gazometrii automatycznej jest kontrola i monitorowanie parametrów powietrza w ustalonych miejscach sieci wentylacyjnej kopalni. Miejsca te są określone przez przepisy górnicze i wskazane dodatkowo jako istotne dla bezpieczeństwa przez Głównego Inżyniera Wentylacji. Oprócz ustalonych miejsc zabudowy i lokalnego charakteru pomiarów przez stacjonarne czujniki tych systemów istotne są również przyjęte w normach wymagania dotyczące rozdzielczości i niepewności pomiarów (Dziurzyński, Krach, Wasilewski, 2013).

Przeznaczeniem systemów gazometrii automatycznej i ich urządzeń jest kontrola i monitorowanie bezpieczeństwa i stanu wentylacji w wyrobiskach kopalni. Chcąc wykorzystać dane z tych systemów do celów poznawczych np. aktualizacji modelu numerycznego przepływu powietrza w kopalnianej sieci wentylacyjnej oraz modelowania stanów nieustalonych wywołanych np. procesami technologicznymi czy zdarzeniami należy opracować metodykę, która uwzględni istotne uwarunkowania takiego zastosowania. Przykładowo konieczne jest wydzielenie danych z systemów gazometrii dla zadania aktualizacji modelu, która wymaga „ciszy” tj. bez zakłóceń w warunkach przewietrzania bo tego wymagają pomiary wykonywane przez pomiarowców (dni wolne, zmiany nie robocze). Oczywiście dla celów modelowania będą wykorzystywane wszystkie dane z tych czujników, które mają związek z modelowanym procesem np. w przypadku badania wpływu pracy kombajnu istotne będą i zostaną wykorzystane czujniki ciśnienia, prędkości powietrza oraz stężenia metanu w rejonie ściany.

## 2. Aspekty prawne i praktyka stosowania gazometrii w kopalniach

Wymagania dotyczące kontroli i monitorowania parametrów powietrza w polskich kopalniach, co do zakresu stosowania zabezpieczeń metanometrycznych, lokalizacji czujników określone zostały w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r., w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych, (stan prawny: 14 sierpnia 2010 r.). Praktyka pokazuje, że obecnie na podstawie rozeznania i oceny zagrożenia metanowego w rejonach eksploatacji na wniosek kierowników działu wentylacji i kierownika ruchu zakładu górniczego, wykorzystując §277 ww. Rozporządzenia, kopalnie zwykle wprowadzają dodatkowe czujniki i zabezpieczenia przez zwiększa się znacznie liczba czujników stosowanych w rejonach eksploatacji (*Raport*, 2013).

### 2.1. Lokalizacja czujników w rejonach ścian

Zabezpieczenia gazometryczne i kontrola zagrożeń aerologicznych (metanowych i pożarowych) zgodnie z obowiązującymi w Polsce przepisami górniczymi prowadzona jest stosownie do przyjętego systemu przewietrzania. Lokalizację czujników parametrów aerologicznych w zależności od przyjętego systemu przewietrzania pokazano poniżej (rys. 1-4).

Na rysunku 1 pokazano i oznaczono w następujący sposób czujniki:

**MM R/W 2%CH<sub>4</sub>** – metanomierz rejestrująco-wyłączający (energię elektryczną) po przekroczeniu 2% metanu,

**MM R/W 1%CH<sub>4</sub>** – metanomierz rejestrująco-wyłączający (energię elektryczną) po przekroczeniu 1% metanu,

**CO** – czujnik stężenia tlenku węgla,

**AS** – anemometr,

**P** – czujnik ciśnienia absolutnego,

**RP** – czujnik różnicy ciśnień na tamach.

Na rysunku 2 pokazano i oznaczono w następujący sposób czujniki:

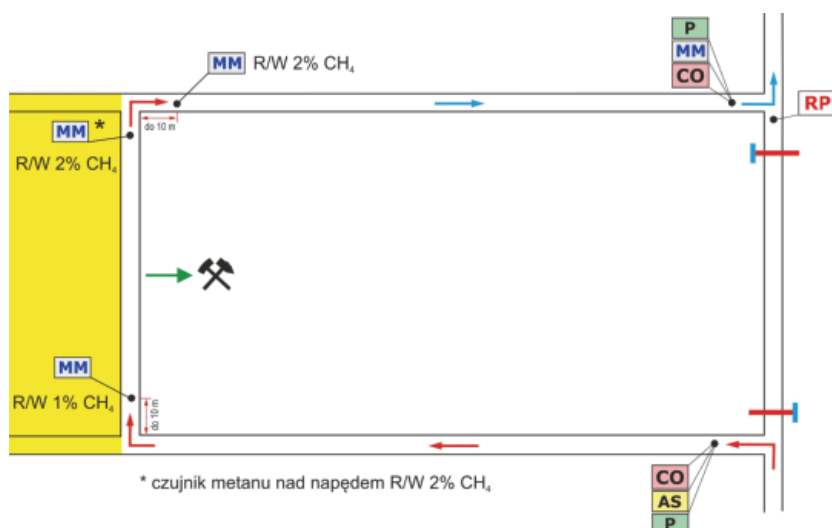
**MM R/W 2%CH<sub>4</sub>** – metanomierz rejestrująco-wyłączający (energię elektryczną) po przekroczeniu 2% metanu,

**MM R/W 1%CH<sub>4</sub>** – metanomierz rejestrująco-wyłączający (energię elektryczną) po przekroczeniu 1% metanu,

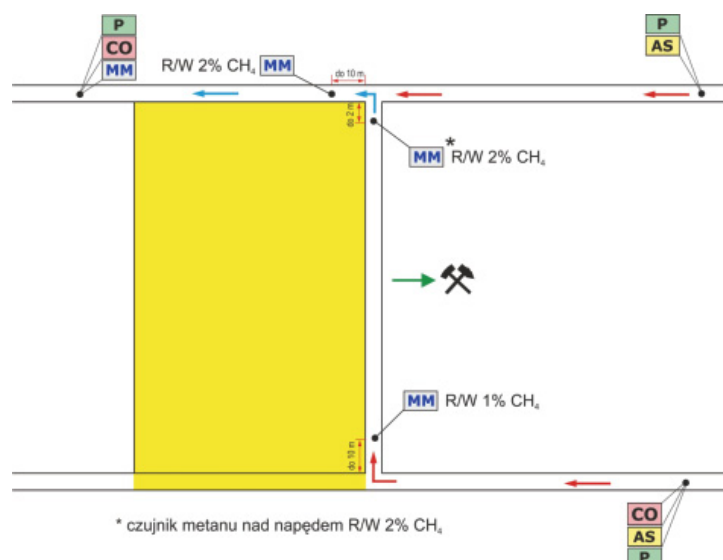
**CO** – czujnik stężenia tlenku węgla,

**AS** – anemometr,

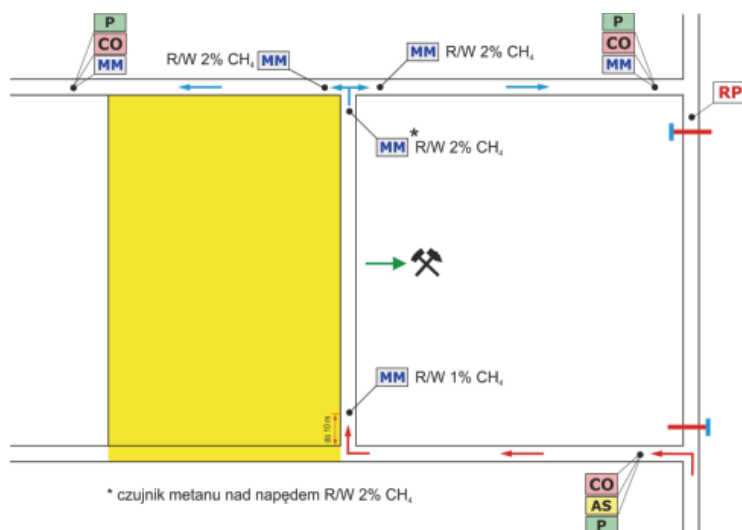
**P** – czujnik ciśnienia absolutnego.



Rys. 1. Sposób przewietrzania na „U” – lokalizacja czujników dla kontroli parametrów powietrza w rejonie ściany



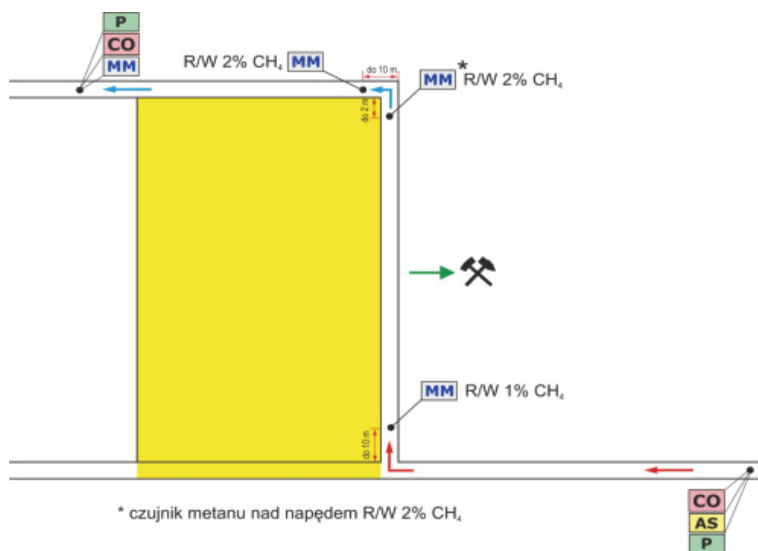
Rys. 2. Sposób przewietrzania na „Y” z doświeżaniem – lokalizacja czujników dla kontroli parametrów powietrza w rejonie ściany



Rys. 3. Sposób przewietrzania na „Y” – lokalizacja czujników dla kontroli parametrów powietrza w rejonie ściany

Na rysunku 3 pokazano i oznaczono w następujący sposób czujniki:

- MM R/W 2%CH<sub>4</sub>** – metanomierz rejestrująco-wyłączający (energię elektryczną) po przekroczeniu 2% metanu,
- MM R/W 1%CH<sub>4</sub>** – metanomierz rejestrująco-wyłączający (energię elektryczną) po przekroczeniu 1% metanu,
- CO** – czujnik stężenia tlenku węgla,
- AS** – anemometr,
- P** – czujnik ciśnienia absolutnego,
- RP** – czujnik różnicy ciśnień na tamach.



Rys. 4. Sposób przewietrzania na „Z” – lokalizacja czujników dla kontroli parametrów powietrza w rejonie ściany

Na rysunku 4 pokazano i oznaczono w następujący sposób czujniki:

- MM R/W 2%CH<sub>4</sub>** – metanomierz rejestrująco-wyłączający (energię elektryczną) po przekroczeniu 2% metanu,
- MM R/W 1%CH<sub>4</sub>** – metanomierz rejestrująco-wyłączający (energię elektryczną) po przekroczeniu 1% metanu,
- CO** – czujnik stężenia tlenku węgla,
- AS** – anemometr,
- P** – czujnik ciśnienia absolutnego.

## 2.2. Pomiary parametrów fizyko-chemicznych powietrza w systemach gazometrii automatycznej

### Metody pomiaru parametrów fizycznych

Czujniki ciśnienia bezwzględnego powietrza stosowane w podziemnych wyrobiskach kopalń wykorzystują precyzyjne piezorezystancyjne sensory renomowanych firm Setra (modele 470 i 278) oraz Measurement (model MS534C).

Czujniki prędkości powietrza (anemometry) stosowane w podziemnych wyrobiskach kopalń wykorzystują różne metody pomiarowe w tym mechaniczne (obrotowe) oraz wykorzystujące różne zjawiska fizyczne bez części ruchomych. W praktyce górniczej w systemach gazometrii automatycznej stosuje się anemometry:

- skrzydełkowe,
- akustyczne,
- termooanemometry
- Vortex.

Parametry czujników stacjonarnych stosowanych w systemach gazometrii automatycznej, a w szczególności podawane przez producentów zakresy pomiarowe, błędy pomiaru oraz wyznaczone niepewności pomiaru (Dziurzyński, Krach, Wasilewski, 2013) podano w tabelicy 1. Dla porównania w tej tabelicy podano również parametry przyrządów ręcznych stosowanych przez służby wentylacyjne i grupy pomiarowe do precyzyjnych pomiarów w celu aktualizacji modelu sieci, a także często stosowane jako mierniki referencyjne.

Tab. 1. Parametry czujników mierników (przyrządy ręczne – referencyjne) i czujników systemów gazometrii

Wielkość mierzona	Symbol	Typ czujnika	Zakres pomiarowy	Błąd pomiaru	Niepewność pomiaru	Uwagi
Ciśnienie bezwzględne	p	μBAR	800÷1300 hPa	±0,1 hPa	0,08 hPa	Miernik
		THP-2	800÷1300 hPa	±0,3 hPa	0,41 hPa	Czujniki w systemie gazometrii
		CSPA-2	800÷1300 hPa	±0,5 hPa	1,8 hPa	
		CPCB	900÷1150 hPa	± 2 hPa	1,63 hPa	
Prędkość powietrza	v	μAS 4	0,2÷20 m/s	±0,5%rdg+0,02m/s	0,004 · v + + 0,008 m/s	Miernik
		RAW	0,2÷20 m/s	1%	0,16 m/s	Miernik
		MPP	0,2÷5 m/s 0,2÷10 m/s	±0,5%rdg+0,05m/s	0,004 · v + + 0,041 m/s	Czujniki w systemie gazometrii
		AS	0,1÷10 m/s	5%rdg ≥ ±0,1 m/s	0,041 · v	
		SAT	± 0,1÷10 m/s	1%	0,16 m/s	
		CSV-5	0,2÷20 m/s	±2%	0,16 m/s	
Różnica ciśnień	Δp	MCRC	(-35÷+35) kPa	± 0,03 kPa		Miernik
		DRC	(-1÷+1) kPa (-2÷+2) kPa (-5÷+5) kPa (-10÷+10) kPa	±1% FS	0,81 kPa 1,63 kPa 4,08 kPa 8,16 kPa	Czujniki w systemie gazometrii
		CSPD	(-250÷+250) Pa (-1,25÷+1,25)kPa (-2,5÷+2,5) kPa (-5÷+5) kPa (-7,5÷+7,5) kPa	< 2%	< 4,1 Pa < 20,4 Pa < 40,8 Pa < 81,6 Pa < 122,5 Pa	
Stężenie metanu	CH <sub>4</sub>	MMI	0÷2,5% CH <sub>4</sub> 2,5÷5% CH <sub>4</sub>	0,1%CH <sub>4</sub>	0,08% CH <sub>4</sub> 0,25% CH <sub>4</sub>	Miernik
		Dräger	0÷2% CH <sub>4</sub> 2÷5% CH <sub>4</sub>	±0,1%CH <sub>4</sub> ±10%rdg	0,041 · C <sub>CH<sub>4</sub></sub>	Miernik
		MM-2	(0÷2,5)% CH <sub>4</sub> (2,5÷100)% CH <sub>4</sub>	± 0,1% CH <sub>4</sub> ± 10% rdg CH <sub>4</sub>	0,08% CH <sub>4</sub> 0,08 · C <sub>CH<sub>4</sub></sub>	Czujniki w systemie gazometrii
		MM-4	(0÷5)% CH <sub>4</sub> (5÷100)% CH <sub>4</sub>	± 0,1% CH <sub>4</sub> ± 3 % CH <sub>4</sub>	0,08% CH <sub>4</sub> 2,45% CH <sub>4</sub>	
		CSM	(0÷2,5)% CH <sub>4</sub> (2,5÷5)% CH <sub>4</sub> (5÷10)% CH <sub>4</sub> (10÷100)% CH <sub>4</sub>	± 0,1% CH <sub>4</sub> ± 0,3% CH <sub>4</sub> ± 1% CH <sub>4</sub> ± 3% CH <sub>4</sub>	0,12% CH <sub>4</sub> 0,29% CH <sub>4</sub> 0,86% CH <sub>4</sub> 2,49% CH <sub>4</sub>	

### Metody pomiaru stężenia metanu

Pomiary metanu w wyrobiskach kopalni w kraju i na świecie od lat odbywa się z wykorzystaniem metody katalitycznego spalania w zakresie do 5% CH<sub>4</sub>. To jest konieczność z uwagi na nieliniowość charakterystyki powyżej dolnej granicy wybuchowości. W zakresie tzw. wysokich stężeń stosuje się metodę termokonduktometryczną. Połączenie obu tych metod wykorzystuje się powszechnie w metanomierzach dwuzakresowych w zakresie 0÷100% CH<sub>4</sub>. W ostatnim czasie podejmowane są próby wykorzystania do pomiaru metanu w wyrobiskach kopalni metodę pochłaniania promieniowania podczerwonego.

Podstawowe cechy metody katalitycznej to:

- tylko dla gazów palnych (metan), ale wymagana obecność tlenu dla uzyskania spalania,
- nieliniowość charakterystyk,
- krótki czas odpowiedzi, określane przez T90,

- wpływ gazów np. wodoru na wskazania tzw. zależności skrośne, wrażliwość na zatrucie (silikony),
- zmienność charakterystyk, konieczność kalibracji, co 7 dni.

W przeciwieństwie do czujników katalitycznych czujniki gazu na podczerwień mają kilka istotnych zalet:

- są odporne na zatrucia,
- nie wymagają obecności tlenu,
- nie są skrośnie czułe na wodór,
- nie wypalają się przy wyższych stężeniach,
- mają dłuższą żywotność,
- nie wymagają częstych kalibracji.

Z powodu emitowanego promieniowania ze źródła, temperatura detektora piroelektrycznego jest wyższa o 5-6°C od temperatury otoczenia, co powoduje, że są odporniejsze na działanie wilgoci.

Wadą zastosowania tej metody pomiarowej jest:

- dłuższy czas odpowiedzi,
- większy pobór mocy,
- nieliniowa charakterystyka.
- skomplikowany układ elektroniczny w torze przetwarzania,

#### Pomiary stężenia innych gazów w wyrobiskach kopalni

Do pomiaru stężenie innych gazów w wyrobiskach kopalni w kraju i na świecie od lat wykorzystuje się metodę elektrochemiczną, która charakteryzuje się możliwością selektywnego pomiaru wybranego gazu (zależnie od budowy i katalizatora). W praktyce w górniczych czujnikach tę metodę wykorzystuje się do pomiaru tlenu i tlenku węgla

#### Kalibracje czujników w warunkach ruchowych

Zgodnie z dokumentacjami techniczno-ruchowymi producenci określają zasady i warunki kalibracji czujników gazowych w warunkach ruchowych tzn. bezpośrednio w wyrobiskach kopalni za pomocą mieszanek wzorcowych, które podano w tablicy 2.

Tab. 2. Wymagania dla kalibracji stacjonarnych czujników w systemach gazometrii

Parametr mierzony	Czas podawania mieszanki	Stężenie mieszanki	Dokładność mieszanki	Kalibracja	Przepływ 1/h
Metan	do ustalenia wskazań	2,2% CH <sub>4</sub> 30÷40 CH <sub>4</sub>	0,1% CH <sub>4</sub>	raz w tygodniu	25 ±5
Tlenek węgla	240 s	140-190 ppm CO czyste powietrza	±5ppm	co 2 tygodnie	25 ±5
Tlen	240 s	Czysty azot 99,99%N <sub>2</sub> powietrze atm. 20,9% O <sub>2</sub>	±0,02%	raz w tygodniu	25 ±5
Dwutlenek węgla	240 s	ok. 1,5% CO <sub>2</sub> ok. 15% CO <sub>2</sub>	± 0,02% ± 0,1%	raz w tygodniu	25 ±5

### 2.3. Rejestracja parametrów powietrza w systemie gazometrii automatycznej

Systemy gazometrii automatycznej w polskim górnictwie mają strukturę typową dla systemów nadzoru dyspozytorskiego procesów przemysłowych. W tego typu systemach wyróżnia się część obiektową oraz stacje dyspozytorskie. W kopalnianym systemie gazometrii automatycznej część obiektową stanowią zlokalizowane w wyrobiskach podziemnych czujniki i stacje dołowe spełniające funkcje koncentratorów danych i układów wykonawczych. Stacje powierzchniowe zawierają układy transmisji danych i zasilania urządzeń dołowych i stanowią element pośredni dla komputerowego systemów dyspozytorskiego nadzoru.

Obecnie w systemach gazometrii stosowane są standardy transmisji z kodowaniem częstotliwościowym w zakresie 6÷12kHz (systemy zanikające) oraz systemy z transmisją cyfrową. Wymagania (przepisy) oraz przyjęte rozwiązania techniczne, w tym przetworniki A/C narzuciły współczesnym systemom ograniczenia w zakresie kodowania (kwantowania) sygnałów pomiarowych. Nie bez znaczenia były tu ograniczenia w zakresie archiwizowania danych. Efektem tych ograniczeń są przyjęte rozdzielczości w rejestracji i archiwizacji danych pomiarowych pokazane w tabelicy 3. Równocześnie przedstawione rozdzielczości rejestracji danych pomiarowych dla mierników ręcznych parametrów powietrza stosowanych w pomiarach górniczych są o rząd wyższe niż stosowane w systemach gazometrii automatycznej.

Tab. 3. Rozdzielczości rejestracji danych dla parametrów powietrza

Parametr	Symbol	Rozdzielczość danych w systemie	Miernik	Rozdzielczość danych w mierniku
Ciśnienie bezwzględne	p	0,1 hPa	μBAR	0,01 hPa
Prędkość powietrza	v	0,1 m/s	μAS	0,01 m/s
Różnica ciśnień	Δp	1 Pa	MCRC	1 Pa
Stężenie metanu	CH <sub>4</sub>	0,1% CH <sub>4</sub>	MMI, Drager	0,1% CH <sub>4</sub>
Stężenie tlenku węgla	CO	1 ppm	Drager	1 ppm

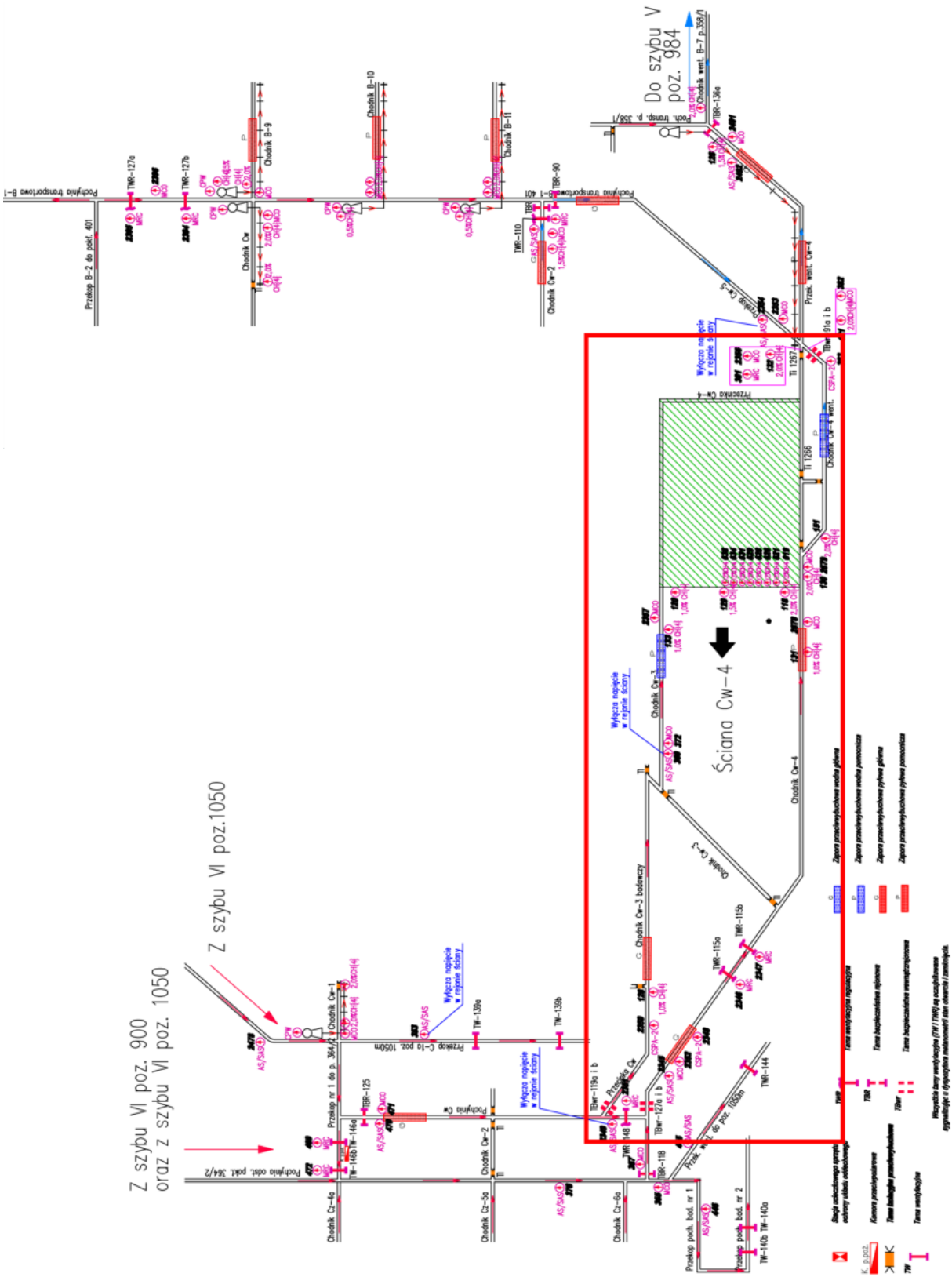
### 3. Przykład pozyskania danych z systemu gazometrii dla celów modelowania

Jako obiekt obserwacji wykorzystano rejon ściany Cw-4 pokł. KWK Budryk, który stanowi wycinek fragmentu sieci wentylacyjnej kopalni z jednoznacznie określonymi parametrami wlotowymi i wylotowymi. Strukturalnie wybrany wycinek sieci można porównać do „trójnika”.

Ściana Cw-4 w pokł. 364/2 przewietrzana była sposobem na „Y” odwrócony z odprowadzeniem zużytego powietrza wzdłuż zrobów na szyb V (Rys. 5). Powietrze do ściany Cw-4 doprowadzane było szybem VI poziom 1050, przekopem C-1a poz. 1050, przekopem nr 1 do pokł. 364/2, pochylnią Cw w pokł. 364/2, przecinką Cw w pokł. 364/2, chodnikiem Cw-3 badawczym w pokł. 364/2, przecinką Cw-3 w pokł. 364/2 i chodnikiem Cw-3 w pokł. 364/2.

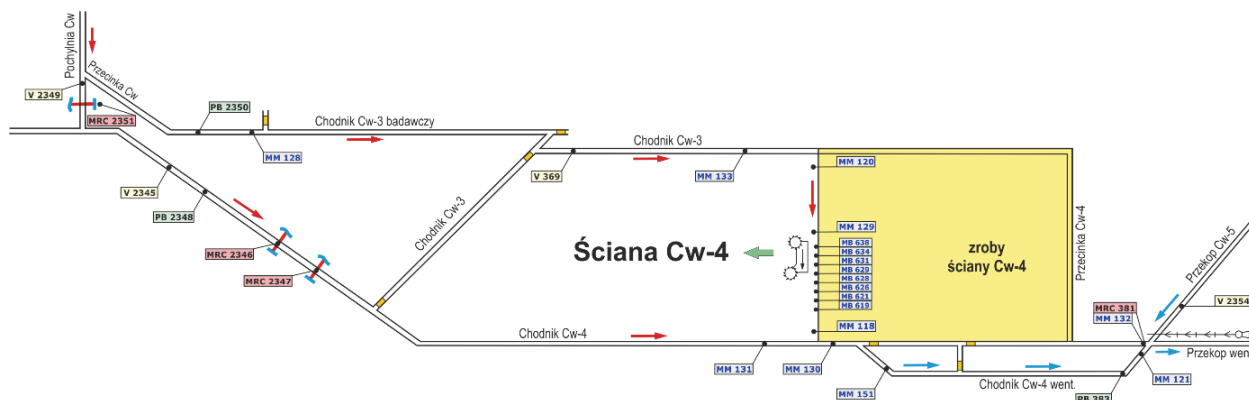
Po przewietrzeniu ściany Cw-4 w pokł. 364/2 powietrze odprowadzone było chodnikiem Cw-4 w pokł. 364/2 na wschód od ściany Cw-4 w pokł. 364/2, przecinką 1 w pokł. 364/2, chodnikiem Cw-4 wentylacyjnym w pokładzie 364/2, przekopem wentylacyjnym Cw-4, chodnikiem wentylacyjnym B-7 w pokł. 358/1, pochylnią wentylacyjną południową A, pochylnią wentylacyjną na południe od przecinki wentylacyjnej do szybu V, pochylnią wentylacyjną równoległą na południe od przecinki wentylacyjnej nr 2, przecinką wentylacyjną nr 2, przecinką wentylacyjną do szybu V poz. 984.

Prąd powietrza wypływający ze ściany Cw-4 w pokł. 364/2 doświeżony był powietrzem doprowadzonym chodnikiem Cw-4.



Rys. 5. Schemat otoczenia rejonu ściany z naniesionymi czujnikami systemu monitoringu





Rys. 6. Przykład zabezpieczeń w ścianie o wysokim zagrożeniu metanowym

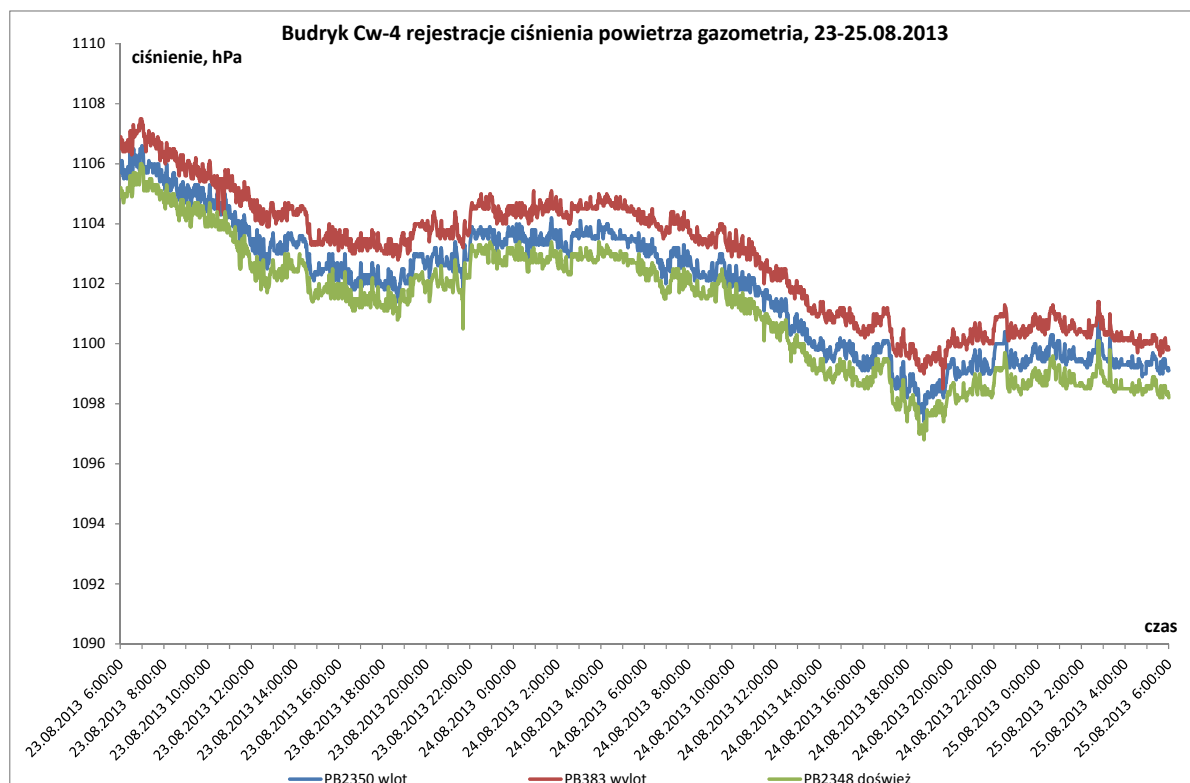
### 3.1. Rejestracje ciśnienia powietrza w rejonie ściany Cw-4

Ciśnienie powietrza w rejonie ściany Cw-4 było rejestrowane przez trzy czujniki.

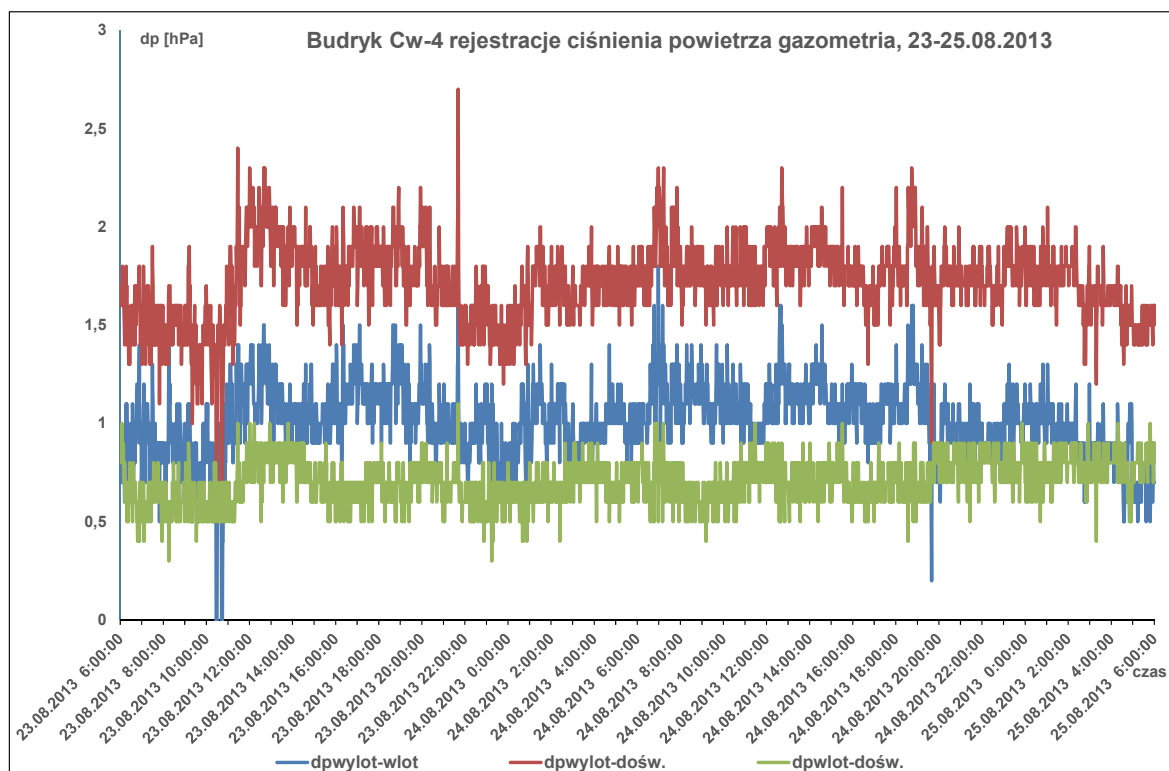
Tab. 4. Lokalizacja czujników ciśnienia powietrza w rejonie ściany

Czujnik ciśnienia	Lokalizacja
PB2350 – wlot	w chodniku Cw-3 badawczym – ok. 50÷100 m na wschód od przecinki Cw
PB2348 – doświeżanie	w chodniku Cw-4 - ok. 50÷100 m na płd. wschód od chodnika Cw-3 badawczego
PB383 – wylot	w chodniku Cw-4 wentyl. – ok. 20÷30 m na płd. zachód od przekopu wentyl. Cw-4

Ciśnienie bezwzględne powietrza rejestrowanie w systemie gazometrii automatycznej w rejonie ściany Cw-4 pokazano na rysunku 7. Widać równomierne zmiany ciśnienia we wszystkich trzech punktach (wlot, doświeżanie, wylot). Wyznaczone różnice ciśnienia bezwzględnego poza niewielkimi wahaniami wartości chwilowych są w zasadzie stabilne (rys. 8).



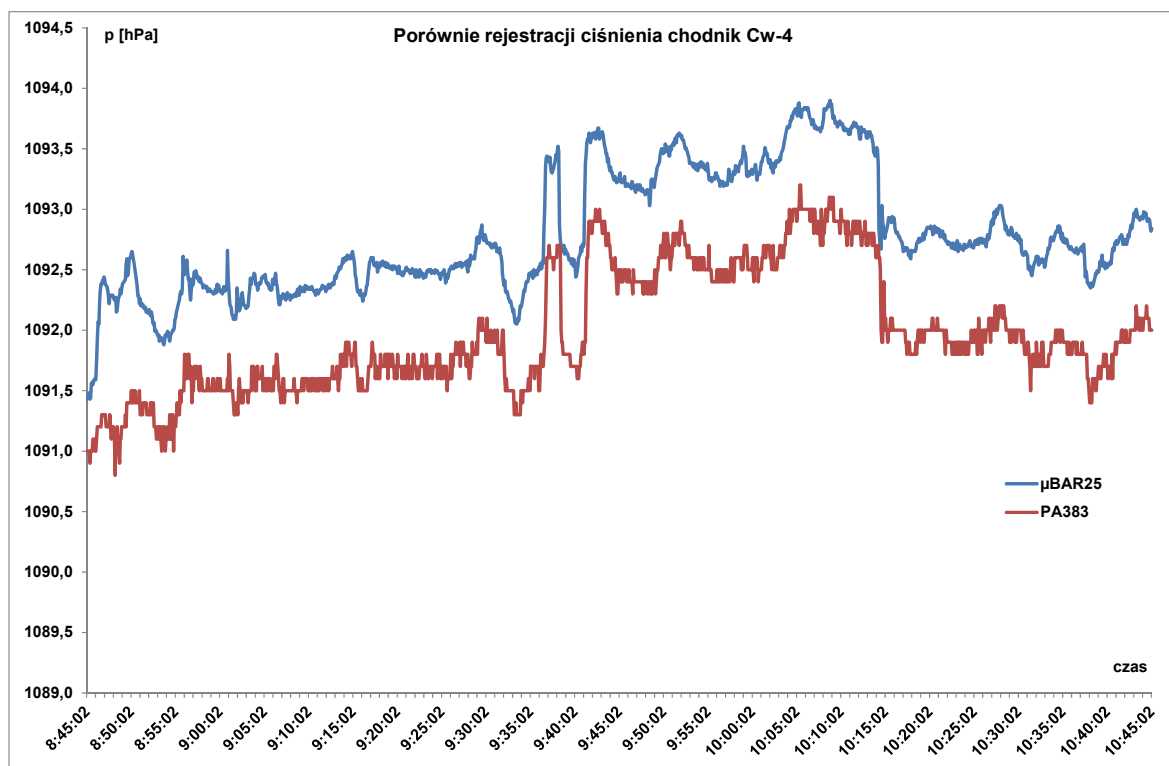
Rys. 7. Rejestracja ciśnienia bezwzględnego w rejonie ściany Cw-4



Rys. 8. Rejestracja różnic ciśnienia bezwzględnego w rejonie ściany Cw-4

#### Kalibracja ciśnieniomierza stacjonarnego systemu gazometrii

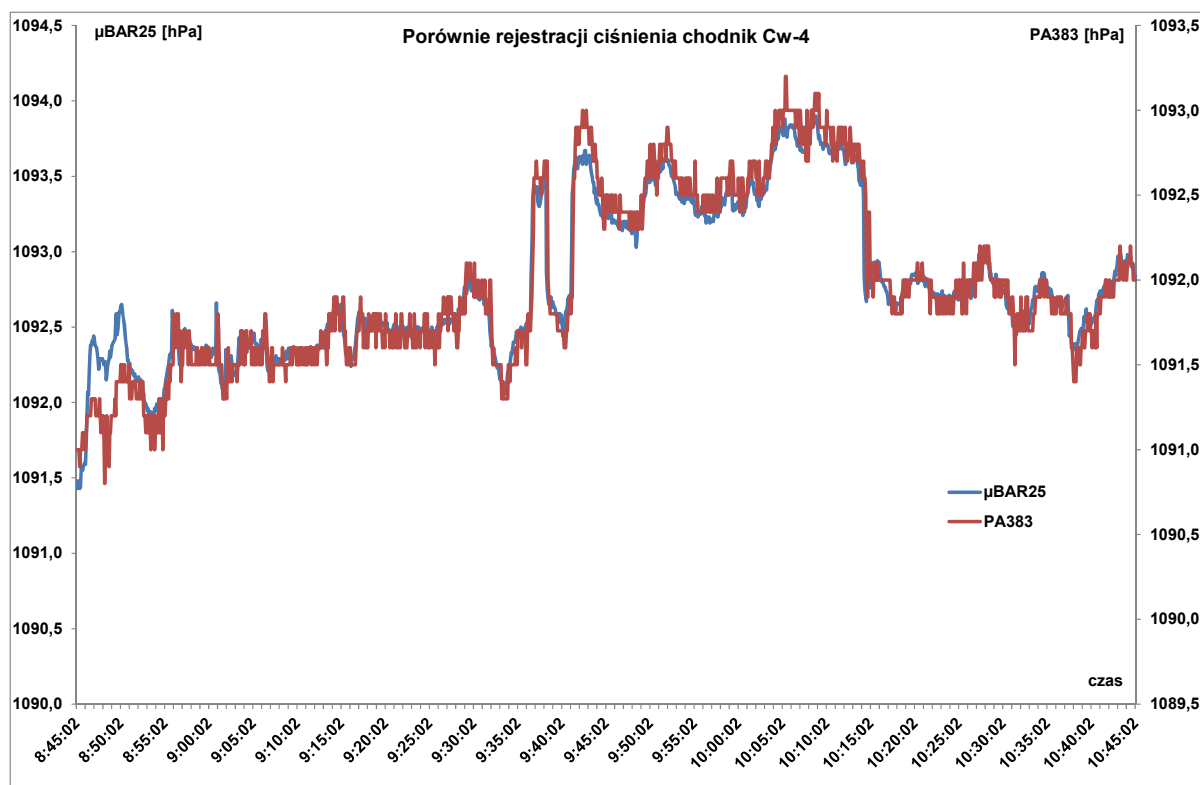
Dla porównania rejestracji ciśnienie bezwzględnego w systemie gazometrii dokonano równoczesnej rejestracji za pomocą precyzyjnego miernika ciśnienia bezwzględnego  $\mu$ BAR. Oba urządzenia umieszczono na tej samej wysokości. Porównawcza rejestracja pokazuje (rys. 9) różnicę wartości ciśnienia bezwzględnego



Rys. 9. Rejestracja porównawcza ciśnienia bezwzględnego w chodniku Cw-4

przy równocześnie podobnym charakterze rejestrowanych zmian. Widać bardzo dobrą zgodność odtwarzania zmian ciśnienia przez oba urządzenia (rys. 10).

Ta uwaga została potwierdzona po przesunięciu wykresu czujnika PA383 systemu gazometrii o 0.5hPa, a wówczas zarejestrowane przebiegi ciśnienia dla obu urządzeń (rys. 10) właściwie się pokrywały. To pokazuje, że precyzyjny miernik ciśnienia bezwzględnego typu  $\mu$ BAR może być wykorzystywany jako referencyjny do kalibracji czujnika ciśnienia bezwzględnego systemu gazometrii automatycznej.



Rys. 10. Rejestracja porównawcza ciśnienia bezwzględnego w chodniku Cw-4 po kalibracji czujnika stacjonarnego

### 3.2. Wyznaczanie wartości średniej prędkości w przekroju na podstawie lokalnej w punkcie zawieszenia czujnika

Tworzenie modeli w oparciu o dane z systemów gazometrii automatycznej powinny zwiększyć dokładność określenia parametrów charakteryzujących model oraz warunków brzegowych. W tym celu należy określić wartości średnie rejestrowanych parametrów w systemie gazometrii. Wielkości rejestrowane przez czujniki są wielkościami lokalnymi w przekroju zabudowy czujnika. Sygnały prędkości powietrza wykazują składowe fluktuacyjne, związane z oddziaływaniem zakłóceń, które są spowodowane przez zewnętrzne czynniki, takie jak zmiana warunków atmosferycznych, warunki ruchowe w kopalni (praca klatek wyciągowych, przejazdy kolejek, otwieranie tam wentylacyjnych) oraz turbulencje przepływu. Analizując zapisy czujników zakłada się, że dotyczą one stanów ustalonych (stacjonarnych), w których występuje składowa wolnozmienna (quasi-stała) i zakłócenia w postaci fluktuacji wartości chwilowych. Takie podejście odpowiada założeniom stosowanym w modelach numerycznych, na przykład hipotezie uśredniania Reynoldsa.

Dla stanów uznawanych za stacjonarne można określać stałe parametry modelu, na przykład opór wyrobiska. Koncepcja stacjonarności opiera się na założeniu, że cechy obiektu decydujące o jego stanie zmieniają się w sposób pomijalnie mały. Składowe fluktuacyjne eliminuje się najczęściej stosując uśrednianie (wygładzanie, filtrację) przebiegów po czasie. Przy obliczaniu średnich należy dobrać przedziały czasowe uśredniania tak by obejmowały one warunki dostatecznie bliskie stacjonarnym.

Prędkość powietrza w rejonie ściany Cw-4 było rejestrowane przez trzy anemometry.

Tab. 5. Lokalizacja anemometrów w rejonie ściany

Anemometr	Lokalizacja
V369 – wlot	w chodniku Cw-3 – do 100 m na wschód od przecinki Cw-3
V2345 – doświeżanie	w chodniku Cw-4 – ok. 50÷100 m na płd. wschód od chodnika Cw-3 badawczego
V2354 – dolot	w przekopie Cw-5 – ok. 50 m na północny wschód od przekopu wentylacyjnego Cw-4

Zarejestrowane prędkości powietrza wykazują bardzo silne fluktuacje wartości chwilowych. Fluktuacje wartości chwilowych prędkości powietrza oraz sposób rejestracji tego parametru z rozdzielczością  $\pm 0,1\text{m/s}$  powoduje że zapisy tego parametru są nieczytelne (rys. 10) i nie pokazują w sposób właściwy zmian prędkości powietrza.

#### Eliminacja składowej turbulencji z sygnału prędkości powietrza

Burzliwy charakter przepływu powietrza w wyrobiskach kopalni powoduje, że wartości chwilowe sygnału prędkości powietrza rejestrowane za pomocą stacjonarnych anemometrów w systemie gazometrii podlegają znacznym wahaniom. Fluktuacje prędkości powietrza są naturalną własnością i nie mają wpływu na stan przewietrzania kopalni.

Kontrola prędkości powietrza w wyrobiskach kopalni w systemach monitorowania parametrów środowiska kopalni, a także systemach kontroli wentylacji wymaga stosowania metod wygładzania (Wasilewski 1984, Trutwin, Wasilewski, 1994) dla eliminacji składowej zakłóceń reprezentującej fluktuacje powietrza.

W celu eliminacji składowej zakłóceń reprezentującej fluktuacje z sygnału prędkości powietrza, można zastosować dolnoprzepustowy filtr cyfrowy, który umożliwia rozdzielanie sygnału prędkości powietrza na dwie składowe w postaci

$$v(t) = v_{mean}(t) + \eta(t)$$

gdzie  $v_{mean}(t)$  jest składową reprezentującą zmiany wartości średniej prędkości powietrza, a  $\eta(t)$  jest składową reprezentującą fluktuacje powietrza o zerowej wartości średniej i rozkładzie normalnym.

W celu wygładzenia sygnału prędkości powietrza można stosować (Trutwin, Wasilewski, 1994) cyfrowy filtr dolnoprzepustowy Browna, dany równaniem

$$y_i = \alpha y_{i-1} + (1 - \alpha) x_i$$

gdzie  $y_i$  są elementami wygładzonego szeregu czasowego prędkości powietrza,  $x_i$  są elementami szeregu mierzonej prędkości powietrza. Współczynnik filtracji  $\alpha$  jest liczbą rzeczywistą z przedziału  $(0,1)$ , zależną od dolnej częstotliwości granicznej filtru. Dobór współczynnika wygładzania  $\alpha$  prowadzono eksperymentalnie, tak długo, aż odfiltrowana składowa  $\eta v(t)$  spełniała warunki tzw. „białego szumu”, tzn. była składową stacjonarną o zerowej wartości średniej i rozkładzie normalnym.

Innym sposobem wygładzania sygnału pomiarowego w celu eliminacji szumu reprezentującego składową fluktuacji prędkości powietrza jest metoda ruchomej średniej uśredniania wartości chwilowych z tzw. ruchomym oknem o ustalonym okresie uśredniania

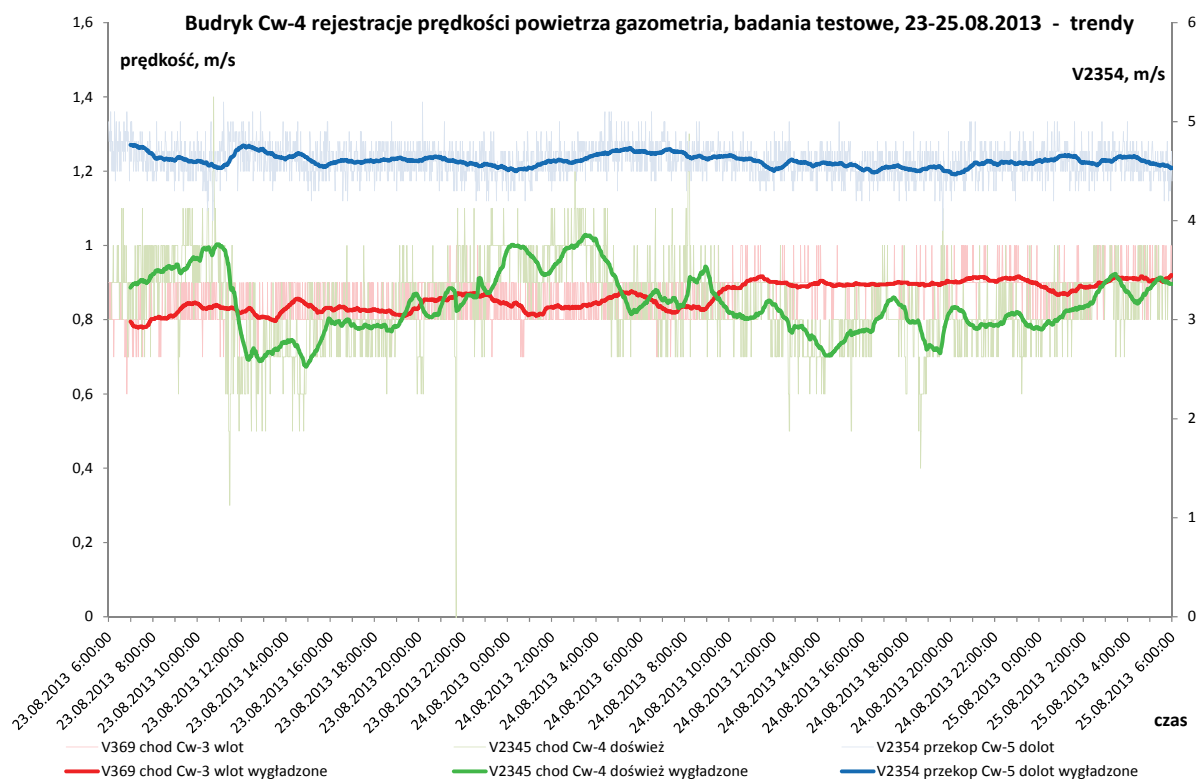
$$y_i = (x_{i-N+1} + \dots + x_i) / N$$

gdzie  $y_i$  są elementami wygładzonego szeregu czasowego prędkości powietrza,  $x_i$  są elementami pomiarowego szeregu prędkości powietrza, a  $N$  jest okresem uśredniania, tzn. liczbą wartości szeregu do średniej.

W kopalnianych systemach gazometrii automatycznej i kontroli wentylacji zakłócenia wywołane fluktuacjami powietrza powinno się zatem eliminować jako nieistotne z punktu widzenia stanu bezpieczeństwa czy trwałych zmian stanu wentylacji kopalni. Uzyskana w wyniku wygładzania składowa użyteczna sygnału prędkości reprezentująca zmiany wartości średniej, która powinna być wykorzystana do monitorowania i kontroli w systemie nadzoru (Wasilewski, 2013) oraz sygnalizacji prędkości powietrza poniżej wartości krytycznych może być również wykorzystywana do celów modelowania.

Dopiero zastosowanie wygładzania sygnału metodą ruchomej średniej pokazało (rys. 11) właściwie przebieg prędkości powietrza wraz z jego zmianami.

Jest oczywiste, że w tym wypadku zapisy prędkości powietrza w systemie gazometrii automatycznej nie mogą być bezpośrednio wykorzystywane do modelowania, ale będzie to możliwe dopiero po usunięciu chwilowych fluktuacji za pomocą wygładzenia.



Rys. 11. Wyglądzone rejestracje prędkości powietrza w rejonie ściany Cw-4

### Szacowanie średniej prędkości przez wyznaczenie współczynnika korekcji

Czujniki prędkości montowane na wylocie rejonu pozwalają na oszacowanie strumienia objętości powietrza. Warunkiem poprawnego wyznaczenia strumienia objętości jest właściwie ich skalibrowanie tzn. możliwość szacowania prędkości średniej na podstawie prędkości lokalnej rejestrowanej przez anemometr stacjonarny systemu gazometrii automatycznej. Do tego celu należy wyznaczyć średnią prędkość powietrza wyznaczoną metodą trawersu ciągłego w przekroju zabudowy anemometru stacjonarnego systemu gazometrii automatycznej oraz „współczynnik kalibracji” prędkości lokalnej na prędkość średnią.

Współczynnik przeliczenia można wyznaczyć dla strumienia objętości powietrza wyznaczonego dla średniej prędkości powietrza zmierzonej przez pomiarowca w kopalni metodą trawersu ciągłego za pomocą anemometru ręcznego i przyjętego przez kopalnię przekroju wyrobiska oraz średniej prędkości powietrza wyznaczonego przez uśrednienia za okres pomiarów (do kilkunastu minut) ze wskazań anemometru stacjonarnego.

$$k = Q / (S * \tilde{v}) = v_{\text{śred}} / \tilde{v}$$

gdzie:

- $v_{\text{śred}}$  – jest średnią prędkością powietrza wyznaczoną metodą trawersowania anemometrem ręcznym przez pomiarowca,
- $\tilde{v}$  – jest średnią prędkością powietrza wyznaczoną przez uśrednienie za okres pomiarów danych anemometru stacjonarnego systemu gazometrii.
- $S$  – jest polem przekroju wyrobiska w miejscu zabudowy anemometru i równocześnie przekrojem pomiarowym dla pomiarów ręcznych.

Wówczas dla celów obliczeń modelowych można szacować prędkość średnią z prędkości rejestrowanej przez anemometr jako

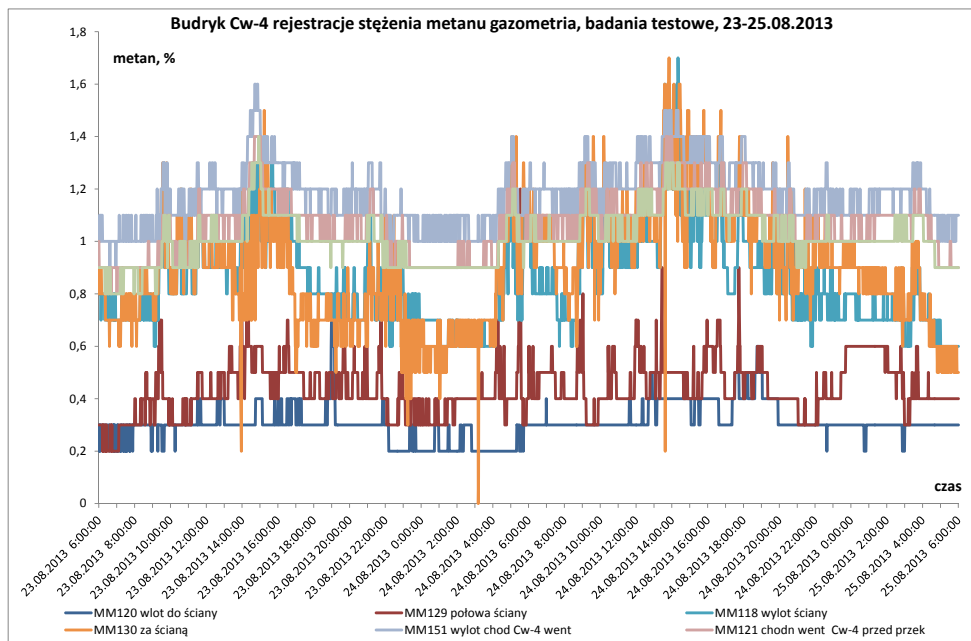
$$v_{\text{śred}} = k * \tilde{v}$$

### 3.3. Rejestracje stężenia metanu w rejonie ściany Cw-4

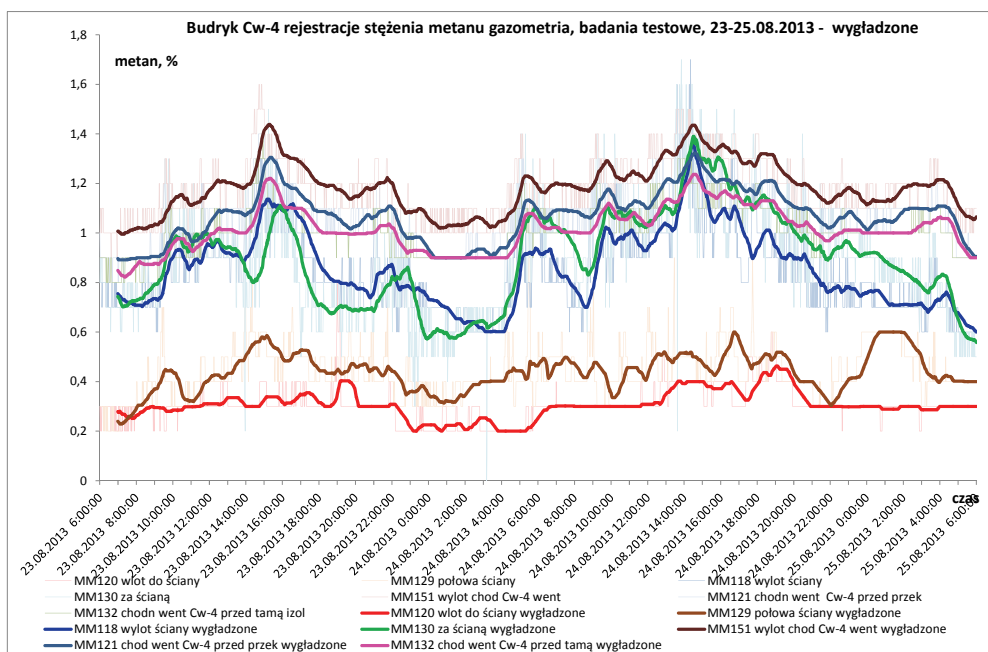
Stężenia metanu w rejonie ściany Cw-4 było kontrolowane za pomocą ośmiu metanomierzy, z których trzy były zlokalizowane w ścianie (tablica 6.).

Zarejestrowane stężenia metanu w systemie gazometrii automatycznej pokazują, że przyjęta rozdzielczość transmisji i rejestracji danych nie pozwala właściwie pokazać (rys. 12) przebiegów stężenia metanu w rejonie ściany. Dopiero po wygładzeniu rejestrowanych danych widać charakter zmian stężenia metanu w różnych punktach rejonu ściany (rys. 13) z wyraźnym pokazaniem zmian tego parametru wywołanych pracą kombajnu w ścianie.

W tym wypadku dane rejestrowane dla stężenia metanu podobnie jak dane dla prędkości powietrza z systemu gazometrii automatycznej rejestrowane w rejonie ściany nie mogą być bezpośrednio wykorzystywane dla modelowania i konieczne jest ich wygładzanie.



Rys. 12. Rejestracja stężenia metanu w rejonie ściany Cw-4



Rys. 13. Rejestracja stężenia metanu w rejonie ściany Cw-4 po wygładzeniu

Tab. 6. Lokalizacja metanomierzy w rejonie ściany

Metanomierz	Lokalizacja czujnika
MM128	w chodniku Cw-3 badawczym – w odległości od 10 m do 15 m na zach. od linii zatrzymania ściany Cw-3
MM133	w chodniku Cw-3 – w odległości od 10 m do 50 m na zachód od ściany Cw-4
MM120	w ścianie Cw-4 – do 10 m od chodnika Cw-3 (wlot)
MM129	w ścianie Cw-4 – w połowie jej długości
MM118	w ścianie Cw-4 – 2m od chodnika Cw-4 (wylot)
MM130	w chodniku Cw-4 – w odległości do 50 m na zachód od ściany Cw-4 (za ścianą)
MM151	w chodniku Cw-4 wentylacyjnym – w odległości od 10 m do 15 m od chodnika Cw-4
MM121	w chodniku Cw-4 wentylacyjnym – w odległości od 10 m do 15 m od przekopu wentylacyjnego Cw-4

#### Szacowanie średniego stężenia metanu w przekroju wyrobiska

Metanomierze montowane na wylocie z rejonu, w strumieniu o wyrównanym stężeniu metanu pozwalają na wykorzystanie rejestracji z tych metanomierzy do modelowania oraz bezpośrednio wyliczanie strumienia objętości metanu. Innym sposobem szacowania średniego stężenia metanu w przekroju wyrobiska może być metoda trawersu ciągłego wykonywanego przez pomiarowca za pomocą metaanemometru typu SOM.

## 4. Wykorzystanie danych z czujników systemu monitoringu do modelowania przy pomocy programu Ventgraph

Program Ventgraph służy do symulacji przewietrzania kopalń głębinowych. Jego moduły stosują zarówno podejście stacjonarne jak i modelowania stanów przejściowych. Podstawową jest model ustalonego przepływu w sieci używany przez moduł GRAS. Na nim bazują symulacje stanów przejściowych z zastosowaniem modułu Pożar i jego wariantów rozwojowych. Wykorzystując dane z czujników systemu monitoringu do modelowania przy pomocy Ventgraph-a można rozpatrywać następujące zastosowania:

- określenie parametrów modelu
- weryfikacja metod numerycznych i modeli poszczególnych obiektów
- odtworzenie przebiegu zdarzeń (stanów przejściowych)

### 4.1. Określenie parametrów modelu sieci wentylacyjnej

W opisie zaimplementowanym w programie system wentylacyjny stanowi sieć wyrobisk, nazywanych bocznkami sieci połączonych węzłami. Przepływ uznaje się za jednowymiarowy i ustalony. Podstawą modelu matematycznego są układy równań opisujące przepływ w bocznicy, bilanse pędu w oczkach sieci i bilanse mas w węzłach. Kluczowymi dla modelu parametrami bocznicy są ich opór aerodynamiczny i oddziaływanie depresji naturalnej. Poza stanami awaryjnymi, w szczególności pożarem depresja naturalna nie ulega szybkim zmianom. W przeciwieństwie do niej opór wyrobisk może zmieniać się zarówno wskutek celowych działań – np. ustawiania tam regulacyjnych, być skutkiem ubocznym ruchu kopalni – np. częściowego zablokowanie przepływu przez składowanie materiałów lub obecności urządzeń a także z przyczyn naturalnych – np. zaciskania wyrobisk. Dobrze skalibrowane czujniki prędkości i ciśnienia mogą w pewnym stopniu pomóc w zgrubej ocenie czy opór monitorowanego fragmentu sieci nie zmienił się a nawet w pewnym stopniu dostarczyć danych do korekty oporu bez konieczności dedykowanych pomiarów. Jak pokazała praca Strumińskich (2000) można wykorzystać skutki zmian – wprowadzając dodatkowy, znany opór i porównując stany przed i po zmianie, można obliczyć opory wyrobisk. Po przeprowadzeniu uzupełniających pomiarów oporów wybranych elementów sieci, na przykład tam można wykorzystać zmiany wynikające z ruchu kopalni do uzyskania danych.

Kolejnym zagadnieniem jest określenie wydajności źródeł metanu. W modelu Ventgraph-a stosowane są punktowe źródła metanu i innych gazów, wprowadzone jako dopływy boczne – połączone z atmosferą bocznice o zadanej wartości dopływu. Parametry źródeł (wydatek i stężenie) należy zmierzyć bezpośrednio lub określić z bilansu w otoczeniu dopływu.

## 4.2. Weryfikacja metod numerycznych i modeli poszczególnych obiektów

Przykład zastosowania danych z systemu monitoringu do określenia parametrów sieci wentylacyjnej i optymalizacji modelu numerycznego opisano w pracy Dziurzyńskiego z zespołem (2013). Zastosowano w nim metodę gradientową do optymalizacji parametrów modelu numerycznego sieci wentylacyjnej, tak by miara odległości przebiegów symulacji i zapisów monitoringu była minimalna. Podczas testowania tej metody zwrócono uwagę na znaczenie weryfikacji i kalibracji wskazań czujników monitoringu, co stanowiło przesłanki dla rozważań przedstawionych w niniejszym artykule.

## 4.3. Odtworzenie przebiegu zdarzeń (stanów przejściowych)

Przykładem skutecznego wykorzystania zapisu danych systemu monitoringu i modelowania przy pomocy programu Ventgraph jest odtworzenie przebiegu rozprywu mieszaniny powietrza i metanu po wyrzucie w dniu 25.11.2005 roku w chodniku transportowym D-6 pokład 409/4 KWK Zofiówka, opisane w pracy (Dziurzyński i in., 2008). Poprawna weryfikacja modelu pozwoliła na przedstawienie czasowych zmian stężenia metanu i tlenu wzdłuż dróg przepływu mieszaniny powietrza i metanu. Przy próbie odtworzenia przebiegu podobnego zjawiska na kopalni Pniówek otrzymano mniejszą zgodność symulacji i zapisów czujników. Przyczyny większej rozbieżności mogą być dwojakie – po pierwsze bazowano na mniej aktualnym modelu ale rozbieżności te mogą również wskazywać na znaczenie wstępnej weryfikacji danych z czujników odnośnie ich położenia i wskazań.

## 5. Wykorzystanie danych w metodzie objętości skończonej

Oprogramowanie wykorzystujące metodę objętości skończonej (często w określanej angielskim skrótem CFD, który w istocie oznacza szerszą klasę metod numerycznej mechaniki płynów) dostarcza obecnie najbardziej precyzyjnych i rozbudowanych metod modelowania. Jest ono intensywnie rozwijane na potrzeby zarówno wielu dziedzin przemysłu jak i badań w zakresie nie tylko nauk technicznych ale również przyrodniczych i biologicznych. W aspekcie przydatności dla zagadnień z dziedziny wentylacji kopalń szczególnie przydatne są możliwość opisu stacjonarnych i zmiennych w czasie przepływów turbulentnych i filtracyjnych płynów z transportem mieszanin wieloskładnikowych i wymianą ciepła. Zagadnienia te można formułować w obszarach o złożonych geometriach w przestrzeniach dwu i trójwymiarowych. Wspólną cechą tych metod jest konieczność możliwie precyzyjnego określenia warunków brzegowych i weryfikacji eksperymentalnej wyników obliczeń. Dla wielu klas zagadnień opracowano zalecenia odnośnie dobrej praktyki modelowania (ang. best practice guidelines) oraz tak zwane przypadki testowe (ang. test case). Przypadki te to zagadnienia dla których można porównywać wyniki obliczeń z danymi pomiarowymi. Porównania takie stanowią dowód stosowalności danej metody numerycznej względnie służą testowaniu nowych metod. Zalecenia oraz przypadki testowe dla zagadnień wentylacji kopalń są dopiero formułowane.

Uzyskanie dostatecznej ilości danych dla modelowania metodami CFD z pomiarów w warunkach kopalnianych jest trudnym zadaniem. Dla dwu i trójwymiarowego opisu wskazane jest pozyskanie dużo bardziej szczegółowych informacji niż dla jednowymiarowego modelu zaimplementowanego w programie Ventgraph. Pewnym ułatwieniem jest to, że pozyskuje się je dla względnie niewielkiego podobszaru kopalni, bo przy obecnych mocach obliczeniowych tylko dla takich obszarów da się metody CFD zastosować. Co więcej, pomiary te są realizowane w trudnych warunkach środowiskowych i przy szeregu ograniczeń wynikających z ruchu kopalni. Dane z systemu monitoringu mogą być bardzo cennym uzupełnieniem zarówno dla wyznaczania warunków brzegowych i parametrów modelu jak i weryfikacji modelowania a także dla interpretacji danych pomiarowych w szczególności wyjaśniania ewentualnych ich niespójności.

### 5.1. Określenie warunków brzegowych

Brzezi obszarów obliczeniowych tworzą nieprzenikliwe ściany oraz powierzchnie poprzez które następuje wymiana masy. Dla tych powierzchni można wprost określać strumienie masy lub objętości względnie zadawać na nich pola ciśnień. W przypadku strumieni można wprost zadawać nich natężenie (wydatek objętościowy lub masowy) względnie określać pola prędkości w szczególności zadawać średnią prędkość, co odpowiada płaskiemu profilowi. Podobnie jest dla pól stężeń gazów transportowanych w przepływie, takich jak metan. Analogicznie można zadawać stałe ciśnienia w przekrojach na przykład na wlocie lub wylocie albo ich rozkłady w płaszczyźnie przekroju.



Do określenia warunków brzegowych można wykorzystać to czujniki systemów monitoringu, które mierzą wielkości średnie. Może to być średnia prędkość względnie ciśnienie. W rzeczywistości niemal w każdym przypadku w przekrojach wyrobisk rozkłady prędkości i ciśnień są zmienne. Przy braku danych dotyczących tych rozkładów obszary obliczeniowe powiększa się o odcinki dolotowe, w których płaskie profile przekształcają się w zbliżone do naturalnych. Oznacza to, że jeśli zadajemy średnie prędkości lub ciśnienia na wlotach, korzystając z danych z czujników, to przepływy możemy uznawać za zbliżone do realnych w odległościach co najmniej kilku lub nawet kilkudziesięciu średnic hydraulicznych od wlotów. Przykładowo dla rejonów ścian wydobywczych czujniki prędkości lub ciśnienia są instalowane zwykle blisko wlotów lub wylotów chodników pod i nadścianowych. Jeśli analizujemy przepływy poblizu ściany, to warunek ten jest spełniony ze sporym zapasem.

Inny aspekt wynika z ograniczeń wielkości obszarów obliczeniowych, wynikających w mocy obliczeniowych komputerów (Dziurzyński i in., 2014). Dla opisów dwuwymiarowych można z powodzeniem zamodelować ścianę wraz z fragmentami chodników pod i nadścianowych. Jednak uwzględnienie chodników o długościach kilkuset metrów byłoby problematyczne. Jeszcze gorzej jest dla opisów trójwymiarowych, gdzie szczegółowy opis uwzględniający obecność urządzeń i obudowy jest możliwy dla odcinków o sumarycznej długości kilkudziesięciu lub co najwyżej kilkuset metrów.

Dla zagadnień stacjonarnych prędkości można wprost przenosić z lokalizacji czujników do granic rozpatrywanego obszaru. Dla ciśnień należałoby oszacować stratę naporu na drodze od czujnika do dolotu względnie wylotu i odpowiednio skorygować ciśnienia. Dla zagadnień niestacjonarnych można zastosować podejście wieloskalowe (Krawczyk i in., 2013). Odcinki od czujników do granic obszarów symulacji należałoby opisać modelami przepływu jednowymiarowego, które reprezentowałyby dynamikę pominiętych odcinków.

Przepływy powietrza kopalnianego są z reguły turbulентne, dlatego należy również określić parametry turbulencji na brzegach. Własności metrologiczne czujników systemu monitoringu nie pozwalają na oszacowanie tych wielkości. Dane w tym zakresie należy pozyskać z innych źródeł.

## 5.2. Weryfikacja obliczeń

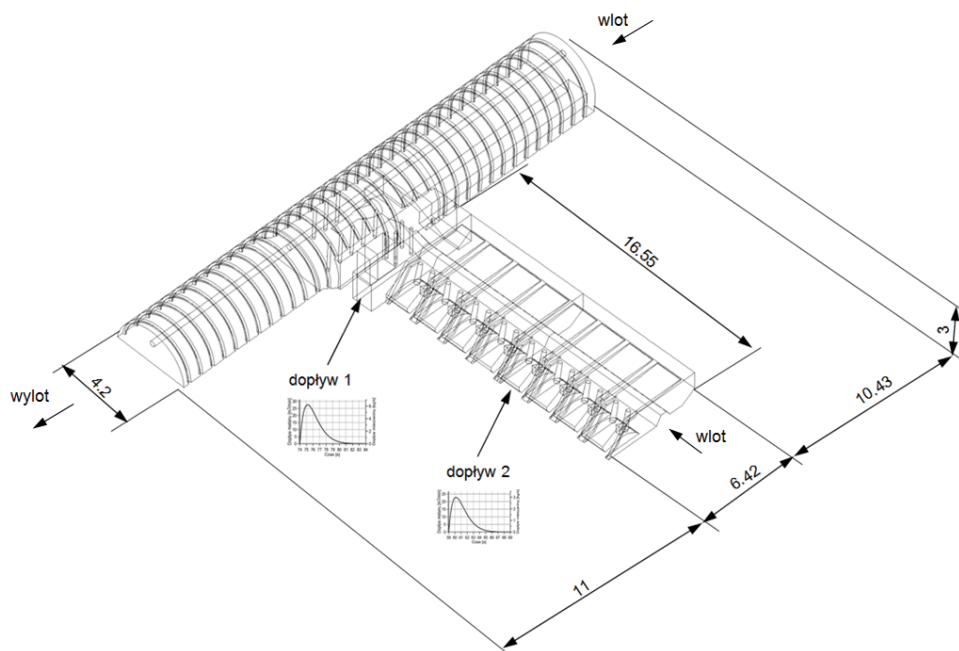
Ze względów praktycznych weryfikacji wyników symulacji dokonuje się najczęściej w oparciu o pomiary punktowe (*Fluent Inc.*, 2006). W tym przypadku zastosowanie mogą znaleźć przede wszystkim czujniki znajdujące się w obszarach niejednorodności analizowanych wielkości fizycznych. Można również wykorzystać czujniki w obszarach o wyrównanym rozkładzie, jednak wartość ich wskazań jako dowodów poprawności modelowania będzie mniejsza. Również w tym przypadku należy rozróżnić opisy stacjonarne i nieustalone.

## 5.3. Zapewnienie spójności danych pomiarowych

W odniesieniu do niespójności danych pomiarowych, to chcąc zmierzyć wiele parametrów przy ograniczonych zasobach sprzętowych i ludzkich niektóre pomiary wykonuje się sekwencyjnie. Na przykład przenosi się system wielopunktowego pomiaru prędkości do kolejnych przekrojów. Dane z czujników systemu monitoringu w otoczeniu miejsca pomiarów mogą pokazać, czy stan obiektu podczas pomiarów w kolejnych przekrojach pozostawał niezmienny względnie dostarczyć przesłanek, które z danych należy pominąć względnie dopasować, na przykład przez przeskalowanie.

## 5.4. Przykład wykorzystania danych z systemu monitoringu jako uzupełnienia dedykowanych pomiarów wentylacyjnych do modelowania zjawisk przepływowych we fragmentach wyrobisk rejonu ściany CW-4

W oparciu o dokumentację i dane uzyskane z pomiarów w ścianie CW-4 z KWK Budryk opracowano model numeryczny końcowego odcinka ściany i chodnika nadścianowego, którego geometrię przedstawia Rysunek 14. Celem modelowania była symulacja skutków nagłych wypływów ze zrobów (Krawczyk, Janus, 2014). Przed obliczeniami stanów przejściowych przygotowano model stacjonarnego rozptywu. Parametry modelu określono na podstawie dokumentacji ściany oraz własnych pomiarów in situ. Dane czujników systemu monitoringu posłużyły do weryfikacji wyboru okresu względnego „spokoju” w stanie przewietrzania i emisji metanu niezbędnego do weryfikacji modelu stacjonarnego przepływu w obszarze obliczeniowym.



Rys. 14. Widok obszaru obliczeniowego obejmującego końcowy odcinek ściany i otoczenie jego skrzyżowania z chodnikiem CW-4

## 6. Wnioski

Systemy gazometrii automatycznej są budowane w celu kontroli stanu bezpieczeństwa i monitorowania parametrów wentylacji w wyrobiskach kopalni.

Istotnym elementem jest właściwy wybór warunków rejestracji danych w systemie gazometrii automatycznej w zależności od przeznaczenia danych dla celu aktualizacji modelu numerycznego przepływu powietrza w kopalnianej sieci wentylacyjnej czy modelowania stanów nieustalonych wywołanych np. procesami technologicznymi.

Dane z systemów gazometrii mogą być uzupełnieniem pomiarów prowadzonych przez grupy pomiarowe dla celów aktualizacji modelu. W przypadku rejestracji prędkości powietrza i stężenia metanu aby wykorzystać dane z tych systemów do celów poznawczych konieczne jest ich przygotowanie np. przez wygładzenie wartości chwilowych. Ważnym elementem przygotowania danych do celów modelowania jest kalibracja czujników w warunkach ruchowych. O ile czujniki parametrów chemicznych czyli stężenia gazów są kalibrowane za pomocą gazów wzorcowych wg. ustalonych zasad, to czujniki parametrów fizycznych wymagają indywidualnego podejścia z wykorzystaniem np. mierników referencyjnych o wyższej klasie dokładności i mniejszej niepewności.

Przedstawiona analiza danych z czujników rejestrowanych w kopalnianych systemach gazometrii automatycznej pokazuje, że dane te mogą być przydatne dla celów modelowania numerycznego przepływu powietrza w kopalnianej sieci wentylacyjnej.

Praca została wykonana w roku 2014 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

## Literatura

ANSYS [2013] *Fluent User Manual*, Ansys Inc

Dziurzyński W., Krach A., Wasilewski S., 2013. *Wyznaczanie niepewności pomiaru parametrów fizyko-chemicznych powietrza w kopalniach głębinowych*. Instytut Mechaniki Górotworu PAN, Kraków.

Dziurzyński W., Krawczyk J., Pałka T., 2008.: *The computer simulation of air and methane flow following an outburst in transport gallery D-6, bed 409/4*. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 108, p. 139-145.

- Dziurzyński W., Krach A., Palka T., Wasilewski S., 2013. *Walidacja programu komputerowego do prognozowania przewietrzania kopalni z zastosowaniem metod optymalizacji numerycznej*. Prace IMG PAN, vol. 15, nr 1-2, s. 3-22.
- Dziurzyński W., Krawczyk J., Skotniczny P., Janus J., Ostrogórski P., 2014. *Badania eksperymentalne rozszerzonego systemu wraz z weryfikacją metodami symulacji komputerowych, w tym z wykorzystaniem modeli 3D*. raport z realizacji Etapu 8 – części strategicznego projektu badawczego PS8 pt. Poprawa bezpieczeństwa pracy w kopalniach, IMG-PAN.
- Fluent Inc. [2006]: *Fluent 6.3 validation guide*, str 178. www.ansys.com.
- Krawczyk J., Janus J., Ostrogórski P., 2013. *Wieloskalowe modelowanie przepływu w rejonie ściany – wybrane zagadnienia*. Prace IMG PAN, vol. 15, nr 1-4.
- Krawczyk J., Janus J., 2014. *The numerical simulation of a sudden inflow of methane into the end segment of a longwall with Y-type ventilation system*. Przyjęty do druku w Arch. Min. Sci.
- Menter F., 2011. *Turbulence Modeling for Engineering Flows*. Application Brief, s. 25, www.ansys.com.
- Strumiński A., Madeja-Strumińska B., 2000. *Praktyczny sposób wyznaczania oporów aerodynamicznych bocznic aktywnych sieci wentylacyjnych*. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, Nr 87, s. 103-115.
- Trutwin W., Wasilewski S., 1994. *Digital filters in ventilation monitoring and control systems*. Archives of Mining Sciences, Vol. 39, No 2, p. 133-144.
- Wasilewski S., 1984. *Analiza niektórych parametrów procesu wentylacji kopalni*. Prace Naukowo-Badawcze EMAG, zeszyt 31, Katowice, 1986. Praca doktorska, IMG PAN Kraków.
- Wasilewski S. (1996), *Badania przepływu powietrza w kopalni*. Archives of Mining Sciences, Vol. 41, No 4.
- Wasilewski S., (2012), *Systemy kontroli i monitorowania zagrożeń gazowych w polskich kopalniach węgla kamiennego*. Bezpieczeństwo Pacy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, nr 12 (220)/2012 s. 3-11.
- Wasilewski S., *Kontrola prędkości powietrza w wyrobiskach kopalni w systemach nadzoru dyspozytorskiego*, Przegląd Górniczy, Nr. 8/2013.
- Raport końcowy z zadania 3, *Opracowanie zasad pomiarów i badań parametrów powietrza kopalnianego dla oceny zagrożenia metanowego i pożarowego w podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny*, projektu strategicznego pt. „Poprawa bezpieczeństwa kopalń”, Kraków, czerwiec 2013 (niepublikowany).

## **Evaluate the usefulness of the data being taken by the gasometric system sensors for the purpose of numerical modeling of air flow in the mine ventilation network**

### **Abstract**

Developing and updating of the mine numerical model requires performing a series of measurements both geometric parameters of mine drift and physico-chemical parameters including air velocity, pressure, temperature and chemical composition of the air flowing in the mine network.

Automatic gasometric system used in coal mines provide a lot of information about the current parameter state of air in the mine drift. Now a days more than 1200 anemometers are used (average 40 on a mine), over 250 barometric pressure sensors (average 8-9 on a mine) and more than 4500 methanometers (average 150 on a mine).

It seems possible to develop a methodology to use a rich database of registered in gasometric system as a complement to in-situ measurements for the development of numerical models. Such use of data form sensors of gasometric system must take into account the metrological properties of these sensors, specific requirements for stationary sensors used in automatic gasometric system.

Authors selected physical quantities that potentially can be determine by using data form gasometric systems sensors. Also identified issues where sensors data can be used for Ventgraph program and finite volume method.

**Keywords:** monitoring, mine ventilation, ventilation survey, numerical modelling