

Badania eksperymentalne wpływu urabiania kombajnem na warunki przewietrzania w rejonie ściany wydobywczej

WACŁAW DZIURZYŃSKI, ANDRZEJ KRACH, TERESA PAŁKA, STANISŁAW WASILEWSKI

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

Streszczenie

Badania prowadzone w polskim i światowym górnictwie pokazują, że zagrożenie metanowe często powoduje utratę ciągłości pracy kompleksów ścianowych oraz ma również istotny wpływ na warunki bezpieczeństwa załóg w ścianie. Praktyka górnicza pokazuje, że w kopalniach silnie metanowych właśnie metan często stanowił podstawowe ograniczenie dla nowoczesnych i wysokowydajnych kompleksów ścianowych. Badania wpływu urabiania kombajnem na warunki przewietrzania w ścianie oraz powstawania stanów nieustalonych prędkości powietrza i stężenia metanu prowadzono w warunkach polskich kopalń Budryk oraz Bielszowice.

Systemy monitorowania stosowane w kopalniach węgla kamiennego dostarczają wiele informacji o stanie parametrów powietrza w ścianach wydobywczych i wyrobiskach przyległych. Niezależnie od bieżącej kontroli i monitorowania parametrów w systemach gazometrii prowadzone są badania eksperymentalne „in-situ”, które wzbogacają bazy danych i mogą być wykorzystane do weryfikacji modeli numerycznych.

W artykule wybrano obserwacje i badania wykonane w ścianie Cw-4 w pokładzie 364/2 kopalni Budryk. W obserwacji stanu metanowego w ścianie Cw-4 niezależnie od rejestracji parametrów powietrza w systemie monitorowania wykorzystano dodatkowe czujniki zabudowane w końcowym biegu ściany od strony zawału oraz rejestracje prędkości powietrza i stężenia metanu w systemie wielopunktowym zabudowanym w wybranym przekroju poprzecznym ściany.

Dane z rozszerzonego systemu były na bieżąco zapisywane w archiwach systemów monitorowania, a systemu wielopunktowego bezpośrednio w pamięciach metaanemometrów, co pozwoliło na wykonanie analizy porównawczej uzyskanych zapisów z wielu metanomierzy. Ważnym elementem prowadzonych analiz była równoczesna rejestracja stężenia metanu w ścianie wraz z informacją o czasie pracy, kierunku jazdy kombajnu oraz rodzaju pracy urabianie/czyszczenie.

Słowa kluczowe: monitoring stężenia metanu, wentylacja kopalń, pomiary parametrów wentylacji

1. Wstęp

Badania prowadzone w polskim i światowym górnictwie pokazują, że zagrożenie metanowe ma istotny wpływ na bezpieczeństwo operatorów maszyn w ścianie, a ponadto stanowi ograniczenie wydobywania przez utratę ciągłości pracy kompleksów ścianowych [Cecala i in., 1994; Schatzel i in., 2008]. Praktyka górnicza pokazuje, że w kopalniach silnie metanowych właśnie metan często stanowi podstawowe ograniczenie dla nowoczesnych i wysokowydajnych kompleksów ścianowych [Jaszczuk, 2008; Schatzel i in., 2008]. Badania wpływu urabiania kombajnem na warunki przewietrzania w ścianie oraz powstawania stanów nieustalonych prędkości powietrza i stężenia metanu prowadzono w warunkach polskich kopalń Budryk [Wasilewski, Bojarski, Kurpas, 2007; Wasilewski i Branny, 2008; Wasilewski, 2010] oraz Bielszowice [Dziurzyński i in., 2010].

Badania i obserwacje prowadzone w ścianach kopalni Budryk [Bojarski, Kurpas, Wasilewski, 2007] oraz [Wasilewski, 2010], pokazały dużą zmienność prędkości powietrza i stężenia metanu w czasie pracy kombajnu i maszyn w ścianie. Potwierdziły, że jest to rezultat dużych gabarytów kombajnu, który przemiesz-

czając się w ścianie stanowi ruchomą przeszkodę zawężającą przekrój roboczy kanału ściany i wywołując lokalne zaburzenia prędkości powietrza oraz zwiększając mieszanie powietrza z metanem, ale również dopływ metanu ze zrobów. Obserwowano przesuujące się czoło wzrostu stężenia metanu w kierunku przepływu powietrza. Równocześnie badania te potwierdziły, że istnieje silna zależność tych efektów od kierunku ruchu kombajnu w stosunku do kierunku przepływu powietrza.

Badania te miały charakter kilkugodzinnych eksperymentów pomiarowych w czasie których prowadzono rejestracje parametrów w oparciu o standardowe urządzenia systemu gazometrii automatycznej powszechnie używane w zabezpieczeniach metanometrycznych kopalń oraz dodatkowe czujniki badawcze [Raporty z etapów 8 i 11, zadania 8 Projektu Strategicznego].

Jako obiekt obserwacji i badań wybrano ścianę Cw-4 w pokładzie 364/2 kopalni Budryk. W badaniach, oprócz tradycyjnych metanomierzy włączonych do układów zabezpieczeń w systemie gazometrii automatycznej, wykorzystano 8 sztuk dodatkowych metanomierzy, ponad te wymagane przepisami, zabudowanych w końcowym biegu ściany. Dodatkowe metanomierze, były zabudowane na sekcjach obudowy (między 5 a 75 sekcją) od strony zawału. Wszystkie czujniki miały zakres 0-100% CH₄, ale były o różnej rozdzielczości. Te pierwsze, tradycyjnego systemu gazometrii, były o rozdzielczości 0,1% CH₄, a te dodatkowe 0,01% CH₄. Dokonano długookresowej kilkumiesięcznej rejestracji parametrów powietrza w systemie gazometrii automatycznej w KWK Budryk. Dane z tak rozszerzonego systemu były na bieżąco, co 1. sekundę, zapisywane w archiwach systemów SW μ P oraz ZEFIR w celu dalszej analizy. Dodatkowo w badaniach wykorzystano zapisy pracy kombajnu i przenośnika ścianowego w ścianie Cw-4 w systemie ZEFIR oraz kierunku jazdy kombajnu (góra/dół) wraz z rodzajem pracy urabianie/czyszczenie, co pozwoliło na wykonanie analizy i oceny wpływu robót w ścianie na rozkład stężenia metanu wzdłuż ściany. Analizy danych pokazały, że tradycyjne metanomierze stosowane w zabezpieczeniach metanometrycznych w kopalniach rejestrują zmiany stężenia metanu z niewystarczającą rozdzielczością dla analizy dynamiki zmian parametrów powietrza, ale dobrze oddają charakter zmian stężenia metanu w czasie pracy kombajnu w ścianie.

Ponadto prowadzono „precyzyjne” obserwacje i rejestracje (z sekundowym cyklem rejestracji) parametrów powietrza, w rejonie ściany Cw-4, w trakcie eksperymentów wykonywanych przez zespoły IMG-PAN oraz kopalniane służby wentylacyjne. Eksperymenty miały na celu określenie lokalnych stężeń metanu wzdłuż ściany z wykorzystaniem rozproszonego systemu metanometrycznego wyposażonego w zwiększoną liczbę czujników.

W kilkugodzinnych eksperymentach, wykorzystywano również system wielopunktowy z metanometrami umieszczonych na kratownicy zabudowanej w wybranym przekroju ściany Cw-4 lub wyrobiskach przyległych. W czasie przeprowadzonych badań długookresowych oraz licznych eksperymentów uzyskano ciekawy materiał poznawczy, poszerzający wiedzę o zmianie rozkładu stężenia metanu oraz strumienia objętości metanu w ścianie w czasie pracy kombajnu w cyklach urabianie/czyszczenie, ale również o zmianie stężenia metanu w czasie jazdy kombajnu góra/dół, stanowiącego ruchomą tamę w ścianie. W pracy Jamroza i Wasilewskiego [2016] przedstawiono fragment prowadzonych rejestracji parametrów atmosfery kopalnianej. Niezależnie od bieżącej kontroli i monitorowania parametrów w systemach gazometrii prowadzone były badania eksperymentalne „in-situ, wyniki tych kompleksowych badań, wykorzystano do weryfikacji modeli numerycznych [Dziurzyński i in., 2009].

Głównym celem prezentowanych w niniejszym artykule badań są analizy rozkładu stężenia metanu oraz strumienia objętości metanu w przekroju poprzecznym kanału ściany w czasie urabiania kombajnu. Interesującym wynikiem tych analiz była również możliwość porównania rozkładu stężenia metanu w przekroju ściany z punktowymi rejestracjami stężenia metanu wzdłuż ściany w rozszerzonym systemie rejestracji.

2. Opis obiektu badań – ściana Cw-4 pokład 364/2 KWK Budryk [Projekt techniczny, 2013]

Podstawowe dane i wyposażenie ściany Cw-4 w pokł. 364/2

Tab. 1. Parametry ściany

Długość ściany	do 243 m
Wysokość eksploatacyjna ściany	1,5÷2,0 m
Nachylenie podłużne ściany	2°÷6°
Nachylenie poprzeczne ściany	-6°÷+5°
Wybieg ściany	834 m
Zabiór	0,8 m
Nachylenie podłużne chodnika podścianowego	-7°÷+2°

W ścianie Cw-4 w pokł. 364/2 zabudowano 156 sztuk sekcji obudowy zmechanizowanej, ponumerowanych kolejno począwszy od chodnika Cw-4.

Tab. 2. Dane techniczne urządzeń

Kombajn ścianowy KSW-460NE	wielkość organów – ø1500 mm
	wydajność – 840 t/h
Przenośnik ścianowy Rybnik 850	max wydajność teoretyczna – 1250 t/h
Przenośnik podścianowego PZP-KOBRA wraz z kruszarką KD BW 800-1200	wydajność szczytowa – 1640 t/h
Przenośniki taśmowe Pioma-1200 nr 1 i 2	teoretyczna max wydajność – 1451 t/h
Przenośnik zgrzeblowy PZP-KOBRA nr 2	wydajność szczytowa – 1640 t/h
Przenośnik taśmowy Gwarek-1200	teoretyczna max wydajność – 1858 t/h

2.1. Sposób przewietrzania ściany Cw-4 pokład 364/2

Ściana Cw-4 w pokł. 364/2 przewietrzana była sposobem na „Y” odwrócony z odprowadzeniem zużytego powietrza wzdłuż zrobów (Rys. 1). 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.

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

2.2. Zabezpieczenia gazometryczne rejonu ściany Cw-4 pokład 364/2

Ściana Cw-4 w pokładzie 364/2 była zabezpieczona pod względem metanometrycznym ponad wymagania przepisów górniczych dodatkowymi czujnikami, m.in. dodatkowym metanomierzem w połowie ściany (Rys. 1). Ponadto rejon ściany jest wyposażony w szereg czujników parametrów powietrza (anemometry, czujniki tlenu węgla itp.). Do celów badawczych z zabezpieczeń metanometrycznych wykorzystano metanomierze od strony wlotu do ściany, tj. od MM120 oraz dalsze zabudowane w ścianie w kierunku wylotu z rejonu ściany w prądzie zużytego powietrza za ścianą w chodniku Cw-4 went. (MM121), a także przy tamie izolacyjnej MM132.

systemów SW μ P oraz ZEFIR. Dodatkowo w badaniach wykorzystano zapisy, w systemie ZEFIR, pracy kombajnu i przenośników w ścianie Cw-4 oraz zapisów dyspozytorów o kierunku jazdy kombajnu (górze/dół) wraz z rodzajem pracy urabianie/czyszczenie, co pozwoliło na wykonanie analizy i oceny wpływu robót w ścianie na rozkład stężenia metanu wzdłuż ściany.

Niezależnie od obserwacji długookresowych w kanale ściany Cw-4 oraz w rejonie ściany, wykonano szereg eksperymentów pomiarowych przez zespoły IMG-PAN oraz kopalniane służby wentylacyjne. Głównym celem tych badań [Raport etap 8, Zadanie 8 Projekt Strategiczny] były obserwacje rozkładu stężenia metanu w przekrojach kanału ściany w czasie urabiania kombajnu. W tym celu dodatkowo wykorzystano system wielopunktowego pomiaru rozkładu metanu (SWPP), w którym metaanometry rozmieszczone w przekroju kanału ściany rejestrowały lokalne prędkości powietrza i stężenia metanu, bezpośrednio w pamięci tych urządzeń pomiarowych. W tym samym czasie prowadzono również „precyzyjne” obserwacje i rejestracje z sekundowym cyklem stężenia metanu przez bezprzewodowe metanometry (MB638-MB619) zabudowane w końcowym biegu ściany. W badaniach eksperymentalnych wykorzystano również zapisy pracy kombajnu i przenośnika ścianowego w ścianie Cw-4 w systemie ZEFIR z sekundowym cyklem rejestracji oraz kierunku jazdy kombajnu (górze/dół) zapisywane przez dyspozytorów kopalni.

3.1. Czujniki wybrane do rejestracji w okresie badań

W czasie badań kontrolowano również (Rys. 5) prędkość powietrza za pomocą anemometrów zlokalizowanych w głównym prądzie przewietrzającym ścianę (V369 – wlot) oraz w prądzie doświeżającym (V 2345) a także na wylocie (V 2345). Dodatkowo w czasie badań kontrolowano ciśnienie powietrza w rejonie ściany Cw-4, na wlocie (PB 2350), w prądzie doświeżającym (PB2348) oraz w chodniku Cw-4 went. na wylocie (PB383).

Tab. 3. Czujniki systemu monitorowania wykorzystane w okresie badań

Typ czujnika	Numery czujników
Metanometry, MM	120, 129, 118, 130, 151, 121, 132
Metanometry dodatkowe, MB	638, 634, 631, 629, 628, 626, 621, 619
Anemometry, V	369 wlot, 2345 doświeżanie, 2354 wylot
Barometry, PB	2350 wlot, 2348 doświeżanie, 383 wylot

3.2. Organizacja pracy w ścianie Cw-4

W kopalni Budryk, a zatem i w ścianie Cw-4 pokład 364/2 obowiązywał czterozmianowy system pracy. Podział doby na poszczególne zmiany pokazano w tablicy poniżej.

Tab. 4. Zmiany robocze – godzin pracy

Zmiana	Zjazd	Wyjazd
IV	godz. 0:00	godz. 7:30
I	godz. 6:00	godz. 13:30
II	godz. 12:00	godz. 19:30
III	godz. 18:00	godz. 1:30

3.3. Rejestracja pracy kombajnu przez dyspozytorów kopalni

Kontrolę pracy maszyn (od strony zasilania) w ścianie Cw-4 (kombajn, przenośnik ścianowy, przenośnik podścianowy), rejestrowano w systemie ZEFIR. Uzupełnieniem rejestracji pracy (zasilania) maszyn w ścianie były zapisy dyspozytorów o kierunku jazdy kombajnu, liczbie cykli oraz sekcji, od której rozpoczął i na której zakończył pracę kombajnu na zmianie.

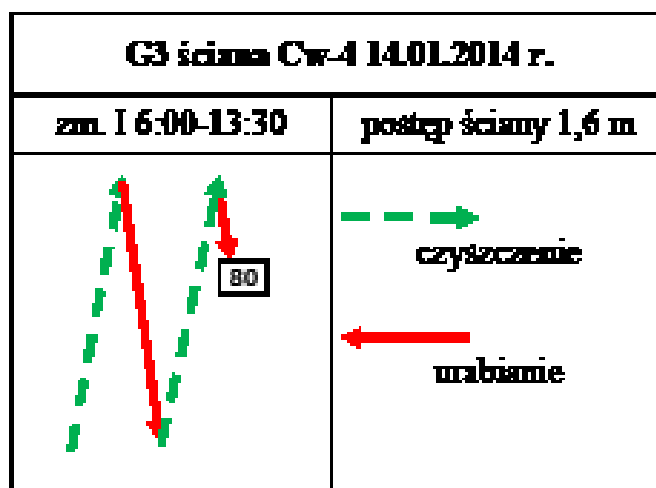
W związku z brakiem technicznych możliwości rejestracji położenia kombajnu w ścianie właśnie te dane przybliżyły zgrubne śledzenie położenia i kierunku jazdy kombajnu w czasie poszczególnych zmian roboczych.

Tego typu rejestracje pracy kombajnu w ścianie CW-4 wykorzystano w badaniach prowadzonych w tej ścianie. W tym sposobie zapisu (Rys. 3) istotne jest, że linia ciągła oznaczała urabianie, a przerywana czyszczenie, natomiast liczby na początku i końcu strzałek oznaczały numer sekcji od której zaczynał czy kończył pracę kombajn na danej zmianie. Urabianie ociosu (cięcie) oznaczało, że kombajn był zawrębiony zjeżdżał na dół, natomiast czyszczenie oznaczało, że kombajn jechał do góry i czyścił spąg bez urabiania ociosu.

4. Badania kopalniane w dniu 14.01.2014 w godzinach 7:00-12:00

Badania wykonane w dniu 14.01.2014 przez zespół pomiarowców z działu wentylacji kopalni Budryk objęły rejestrację stężenia metanu i prędkości powietrza za pomocą metaanemometrów w systemie wielopunktowym zabudowanym w przekroju kanału ściany przy 7. sekcji obudowy (Rys. 2). Równoległe z badaniami prowadzonymi przez pomiarowców prowadzono rejestrację parametrów powietrza, w tym prędkości powietrza oraz stężenia metanu, przez dodatkowe metanomierze bezprzewodowe zabudowane w kanale ściany Cw-4 w systemie badawczym z cyklem co 1 sekundę. Ponadto w trakcie eksperymentu w rejonie ściany Cw-4, w kopalnianym systemie gazometrii rejestrowane były parametry powietrza przez standardowe czujniki prędkości powietrza i stężenia metanu. Równocześnie w systemie ZEFIR, z cyklem co 1 sekundę, rejestrowano czas pracy maszyn w ścianie. Wykorzystano także zapisy dyspozytorów o cyklach i kierunku jazdy kombajnu.

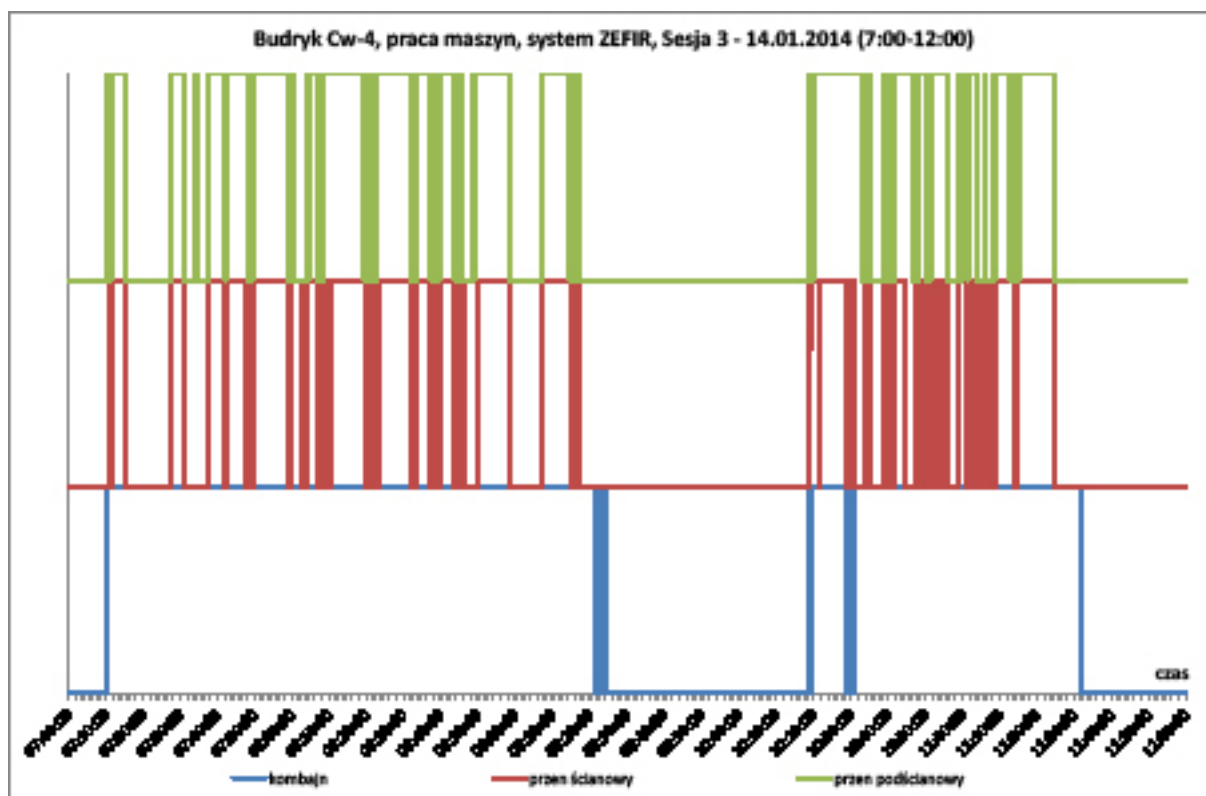
Na zmianie roboczej w czasie badań, w godzinach 7:00-12:00, w ścianie Cw-4 kombajn wykonał postęp 1,6 m przy ponad trzech cyklach (Rys. 3), co w okresie długoterminowym było raczej rzadkim osiągnięciem. Kombajn ruszył od dołu ściany o godzinie 7:30 i wjechał do góry o godzinie 8:00, w trybie czyszczenia, a następnie od godziny 8:00 do 9:00 zjeżdżał z góry na dół urabiając, a następnie ponownie wjechał do góry czyszcząc i jeszcze raz zjechał z góry w dół do 80 sekcji urabiając do godziny 11:35 kiedy nastąpiła awaria kombajnu.



Rys. 3. Zapis pracy kombajnu w ścianie Cw-4 wykonany przez dyspozytora zmiana I, w dniu 14.01.2014

4.1. Rejestracje pracy maszyn w ścianie Cw-4

Rejestracje synchroniczne czasu pracy maszyn w ścianie Cw-4 w systemie ZEFIR w dniu 14.01.2014 w godzinach 7:00-12:00, pokazały jedną dłuższą przerwę technologiczną w pracy maszyn w ścianie (Rys. 4), która miała miejsce około godziny 9:20 i trwała do około 10:20, kiedy kombajn i przenośniki były zatrzymane.



Rys. 4. Rejestracja synchroniczna czasu pracy maszyn w ścianie Cw-4 w systemie ZEFIR w cyku sekundowym w dniu 14.01.2014 w godzinach 7:00-12:00

4.2. Rejestracje prędkości powietrza w rejonie ściany Cw-4

Prędkość powietrza w rejonie ściany Cw-4 była rejestrowana przez trzy anemometry oraz dwa anemometry na dolocie i wylocie za rejonem ściany Cw-4.

Tab. 5. Lokalizacja anemometrów w rejonie ściany Cw-4

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

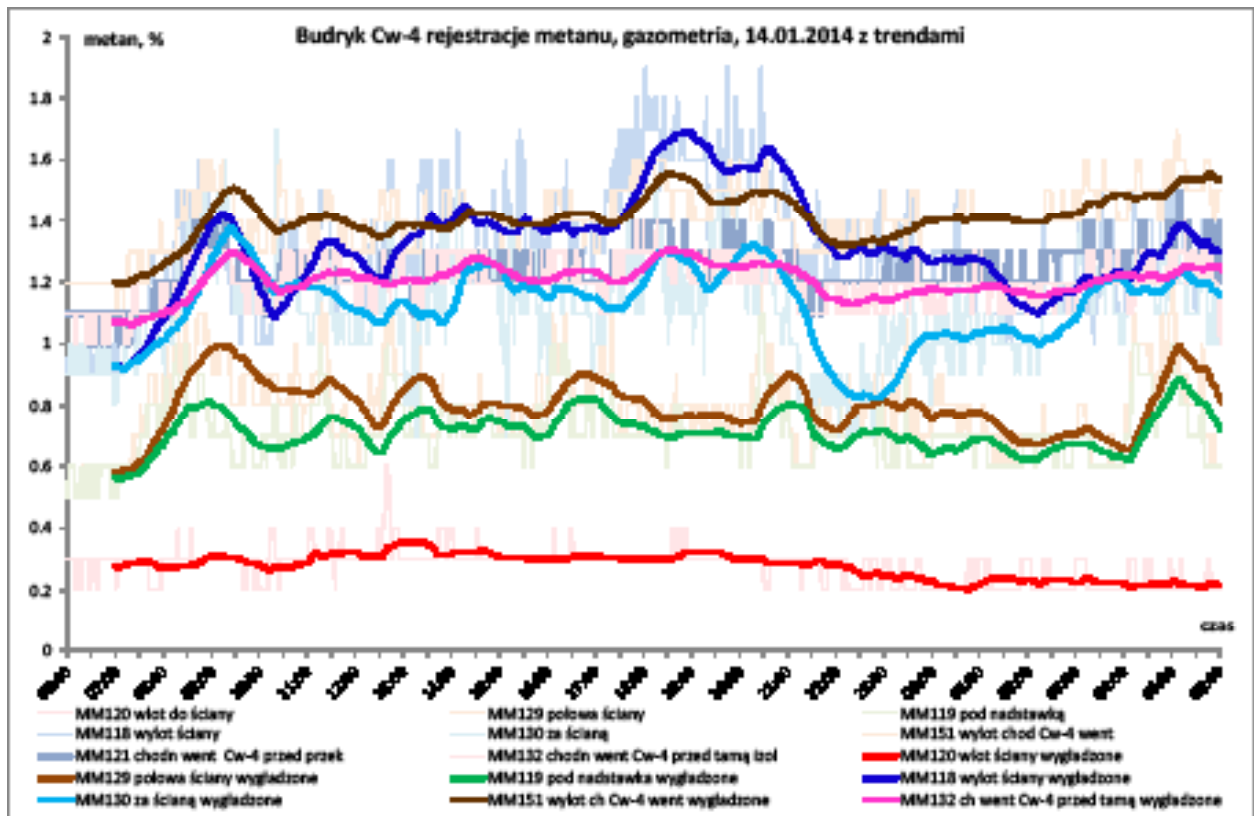
Zarejestrowane prędkości powietrza wykazują bardzo silne fluktuacje wartości chwilowych. Fluktuacje wartości chwilowych prędkości powietrza oraz sposób rejestracji tego parametru z rozdzielczością $\pm 0,1$ m/s powoduje że zapisy tego parametru są nieczytelne i nie pokazują w sposób właściwy zmian prędkości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

Dopiero zastosowanie wygładzania sygnału metodą ruchomej średniej pokazało właściwie przebiegi prędkości powietrza (Rys. 5) wraz z ich zmianami.

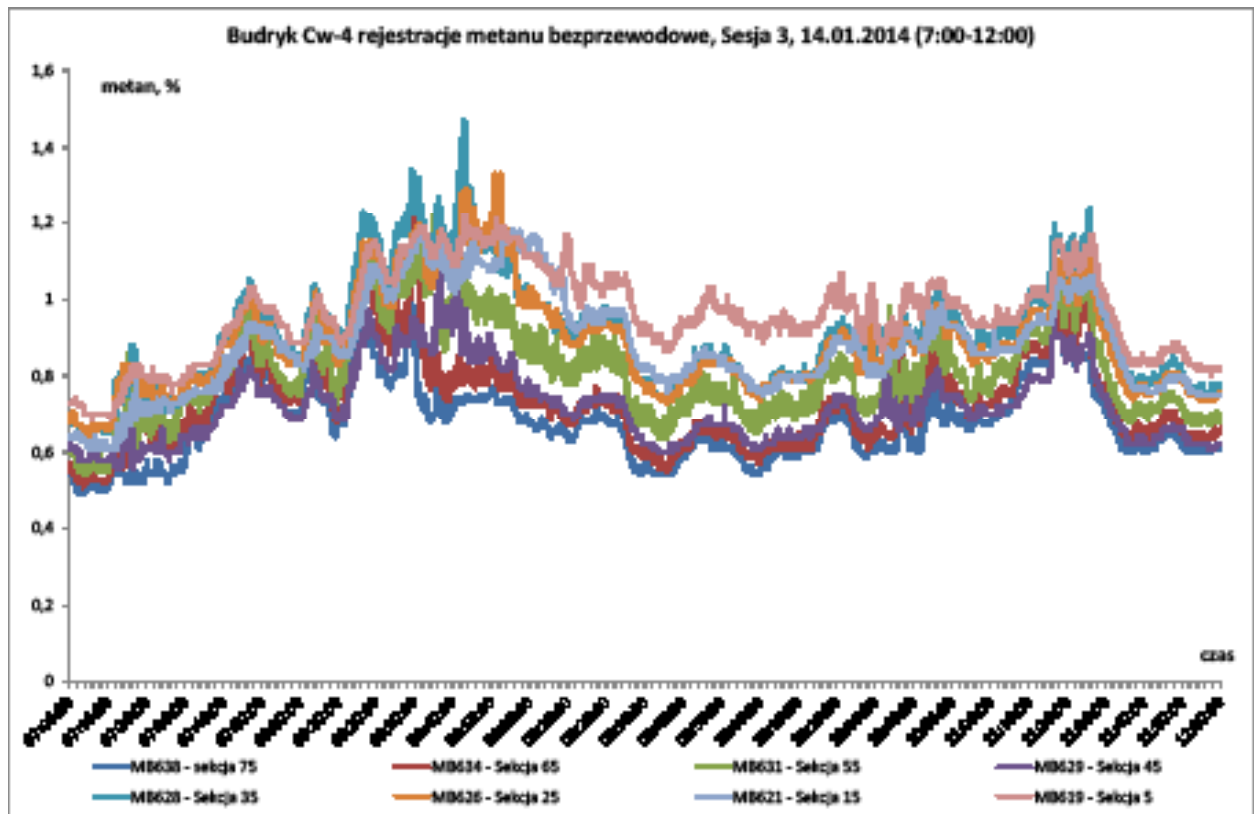
4.3. Rejestracje stężenia metanu w rejonie ściany Cw-4

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

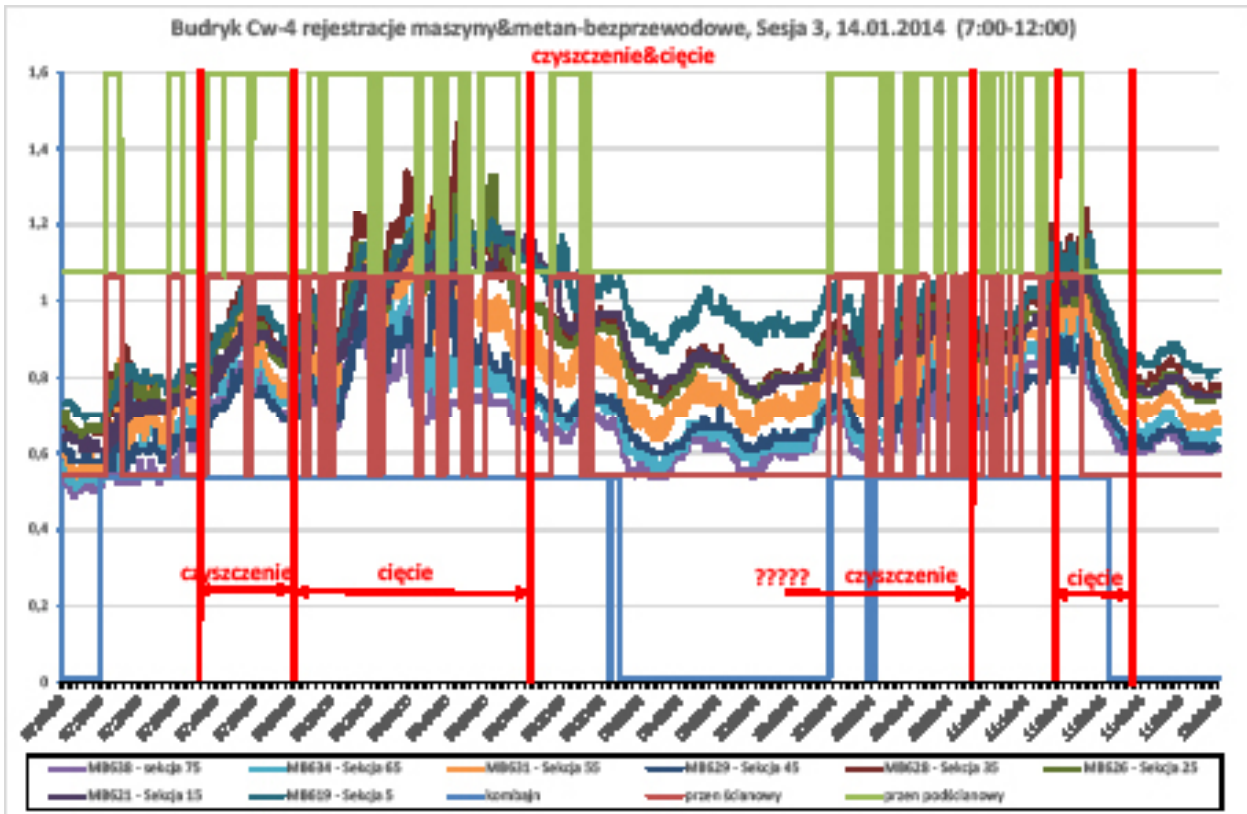
Zarejestrowane stężenia metanu w systemie gazometrii automatycznej pokazują, że przyjęta rozdzielczość ($0,1\%CH_4$) rejestracji danych nie pozwala właściwie pokazać przebiegów stężenia metanu w rejonie ściany. Dopiero po wygładzeniu rejestrowanych danych widać charakter zmian stężenia metanu w różnych punktach rejonu ściany (Rys. 6) z wyraźnymi zmianami tego parametru wywołanymi pracą kombajnu w ścianie.



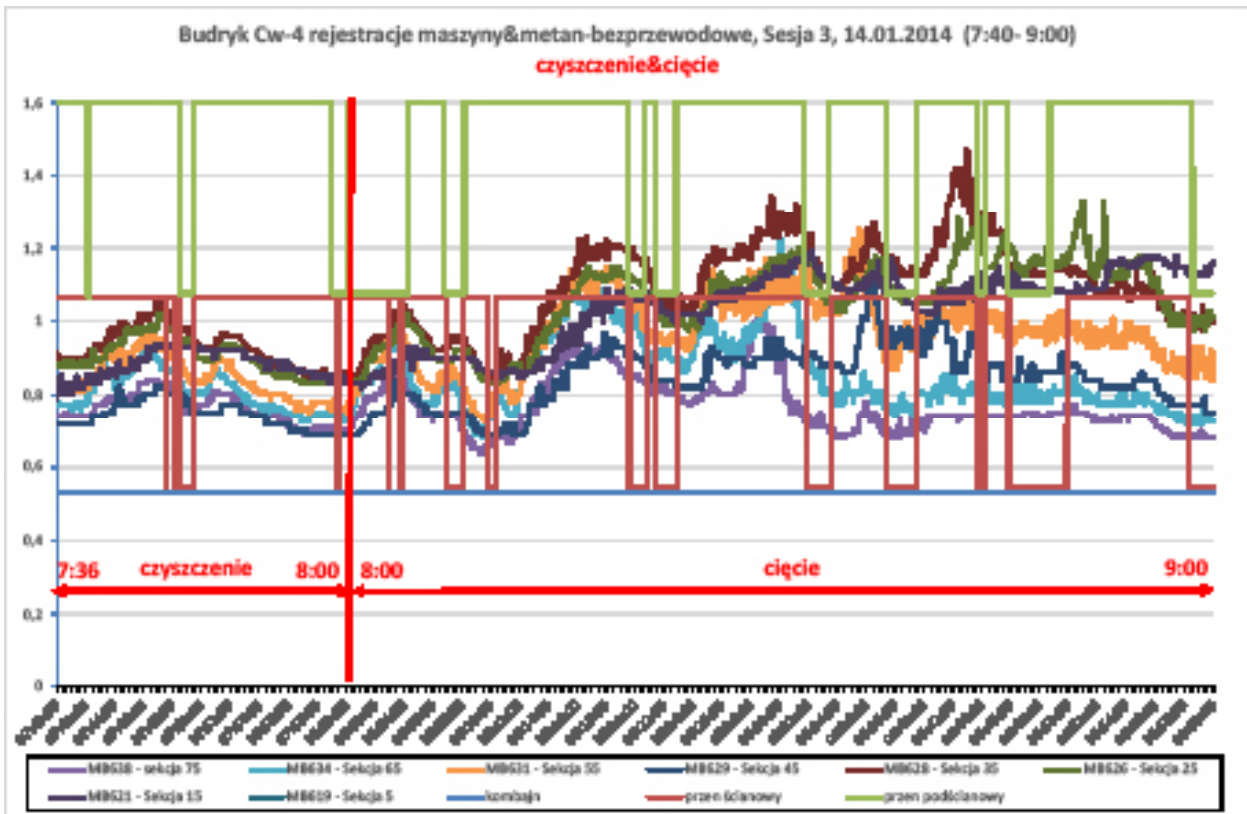
Rys. 6. Wygładzone rejestracje stężenia metanu w rejonie ściany Cw-4, w dniu 14.01.2014



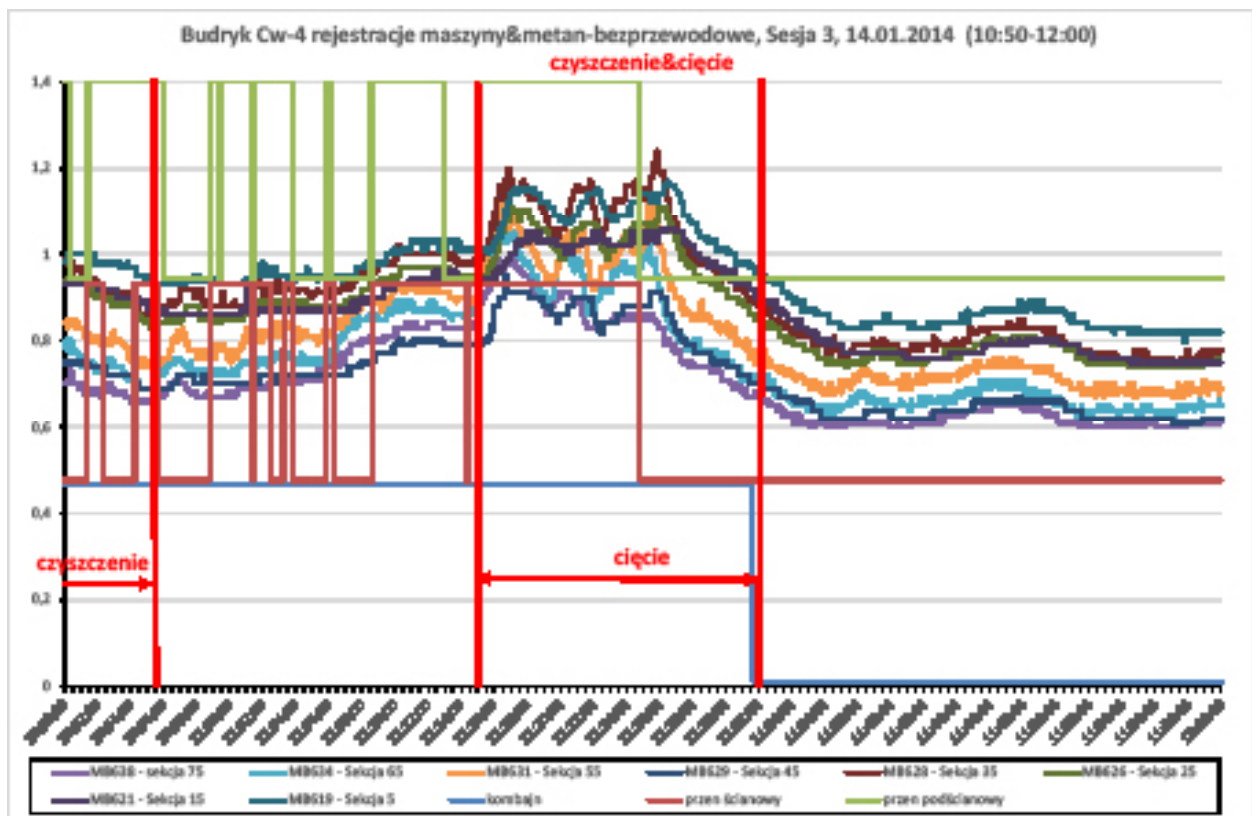
Rys. 7. Rejestracja stężenia metanu w rejonie ściany Cw-4 przez dodatkowe metanomiery w systemie gazometrii, w godzinach 7:00-12:00, w cyku sekundowym w dniu 14.01.2014



Rys. 8. Rejestracja stężenia metanu w rejonie ściany Cw-4 przez dodatkowe metanomierze w systemie gazometrii w dniu 14.01.2014 w godzinach 7:00-12:00 na tle pracy maszyn



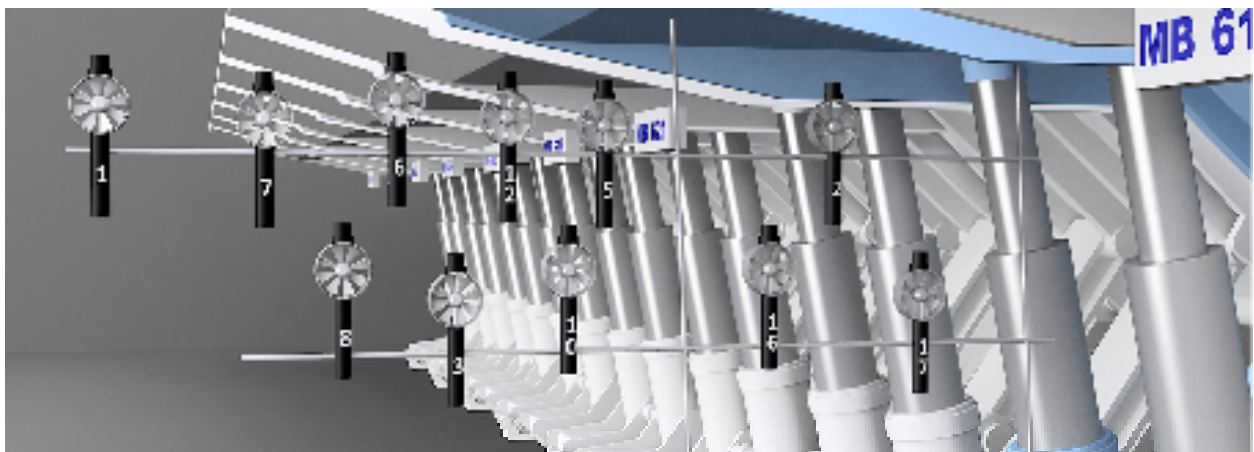
Rys. 9. Rejestracja stężenia metanu w rejonie ściany Cw-4 przez dodatkowe metanomierze w systemie gazometrii w dniu 14.01.2014 w godzinach 7:30-9:00 na tle pracy maszyn



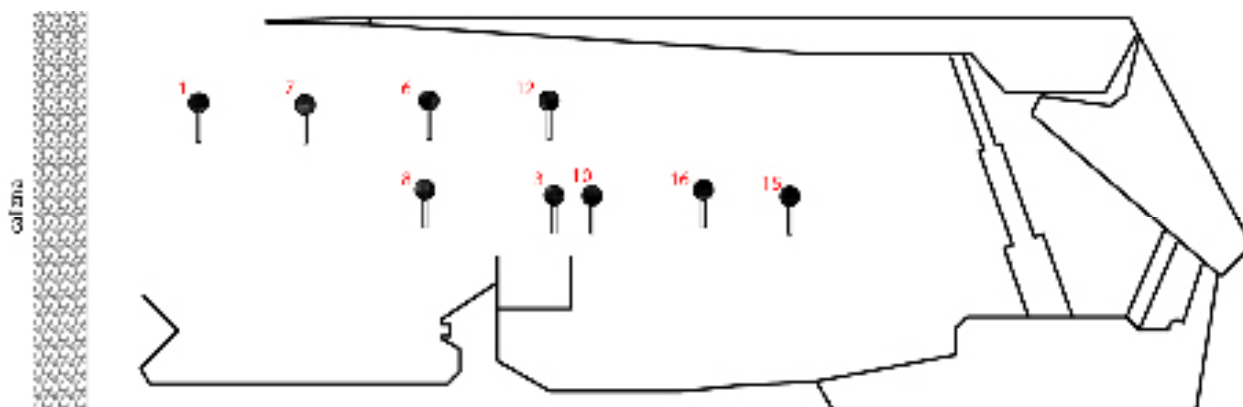
Rys. 10. Rejestracja stężenia metanu w rejonie ściany Cw-4 przez dodatkowe metanometry w systemie gazometrii w dniu 14.01.2014 w godzinach 10:50-12:00 na tle pracy maszyn

4.5. Rejestracje parametrów powietrza w przekroju poprzecznym ściany Cw-4 w systemie wielopunktowym

W kanale ściany wykonano szereg eksperymentów pomiarowych przez zespoły IMG-PAN oraz kopalniane służby wentylacyjne. Głównym celem tych badań były obserwacje rozkładu stężenia metanu w przekrojach kanału ściany w czasie urabiania kombajnem. W tych badaniach wykorzystano system wielopunktowego pomiaru rozkładu metanu (SWPP), rozmieszczając metaanometry w przekroju kanału ściany zabudowane przy sekcji 7. obudowy (Rys. 11 i 12) i rejestrując lokalne prędkości powietrza i stężenia metanu bezpośrednio w pamięci tych urządzeń pomiarowych.



Rys. 11. Lokalizacja dodatkowych czujników i systemu wielopunktowego w ścianie Cw-4

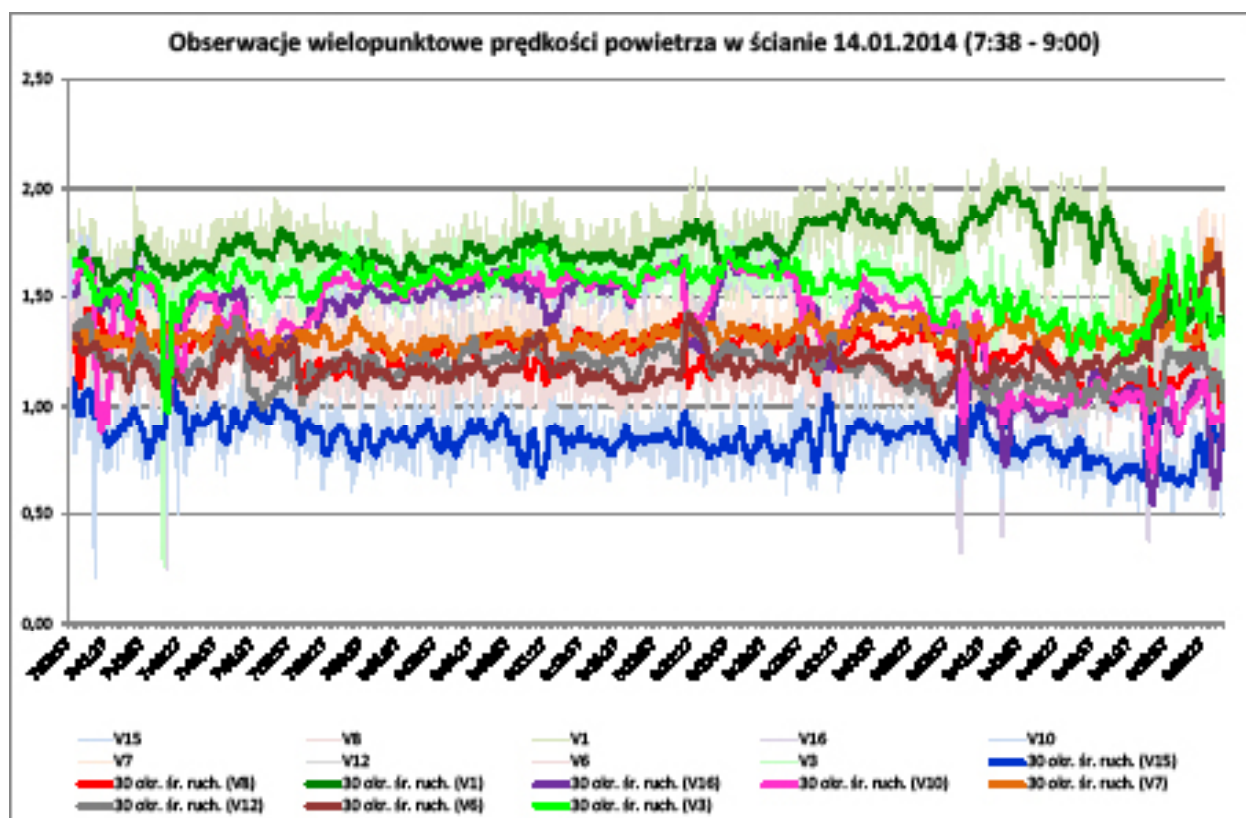


sekcja nr 7 - stanowiska pomiarowe

Rys. 12. Lokalizacja dodatkowych czujników systemu wielopunktowego w przekroju ściany Cw-4

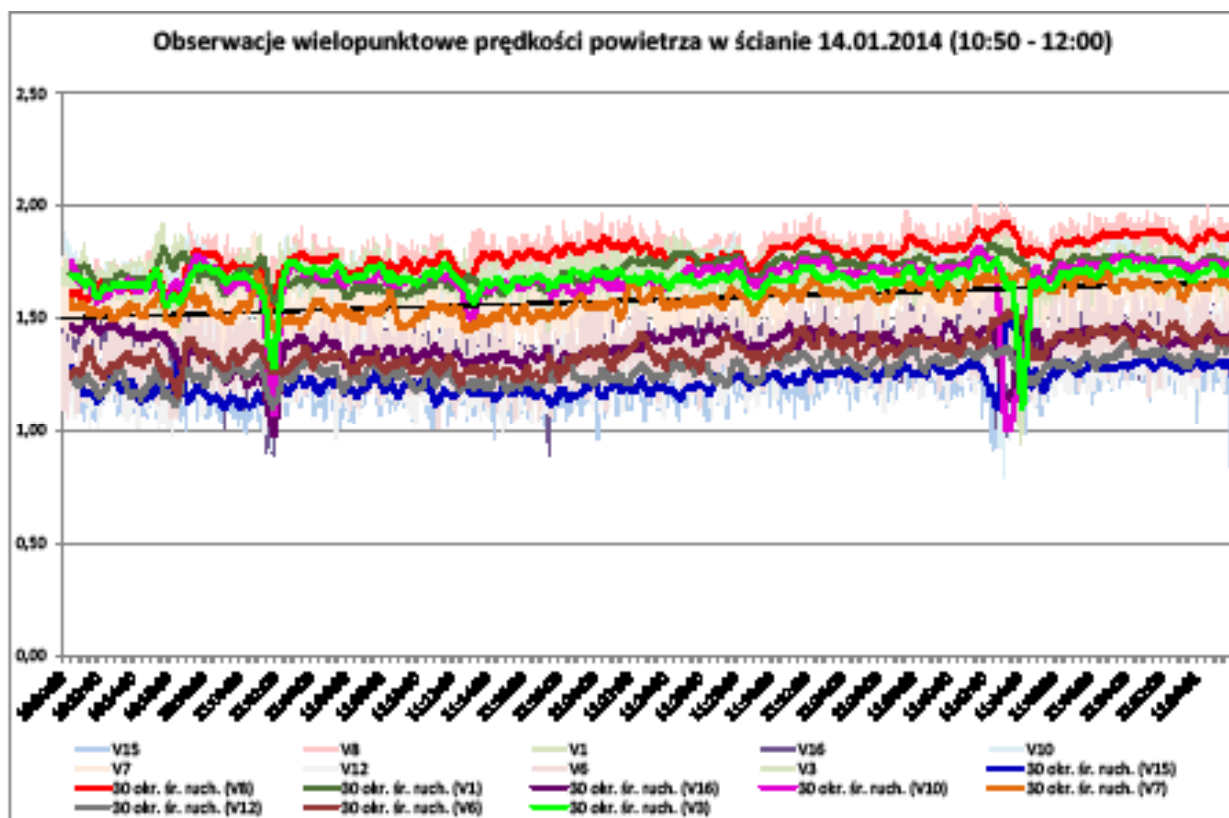
Rejestracje prędkości powietrza w systemie wielopunktowym w przekroju ściany Cw-4

Rejestracje prędkości powietrza w systemie wielopunktowym w przekroju ściany Cw-4, rejestrowane lokalnie przez metaanemometry, w pobliżu 7. sekcji obudowy, dla dwóch okresów obserwacji i rejestracji parametrów powietrza w ścianie pokazano na rysunku 13 w okresie od 7:30 do 9:00 oraz na rysunku 14 w okresie od 10:50 do 12:00.



Rys. 13. Wygładzone rejestracje prędkości powietrza w systemie wielopunktowym w ścianie Cw-4 w okresie od 7:30 do 9:00

Z uwagi na duże fluktuacje wartości chwilowych rejestrowanych przez metaanemometry, w cyklu co 1. sekundę, wygładzono metodą ruchomej średniej. Można zauważyć niewielkie zmiany rejestrowanych lokalnie prędkości powietrza w czasie pracy kombajnu przez anemometry w przekroju ich zabudowy odległym od pracującego kombajnu.



Rys. 14. Wyglądzone rejestracje prędkości powietrza w systemie wielopunktowym w ścianie Cw-4 w okresie od 10:50 do 12:00

Rejestracje stężenia metanu w systemie wielopunktowym w przekroju ściany Cw-4

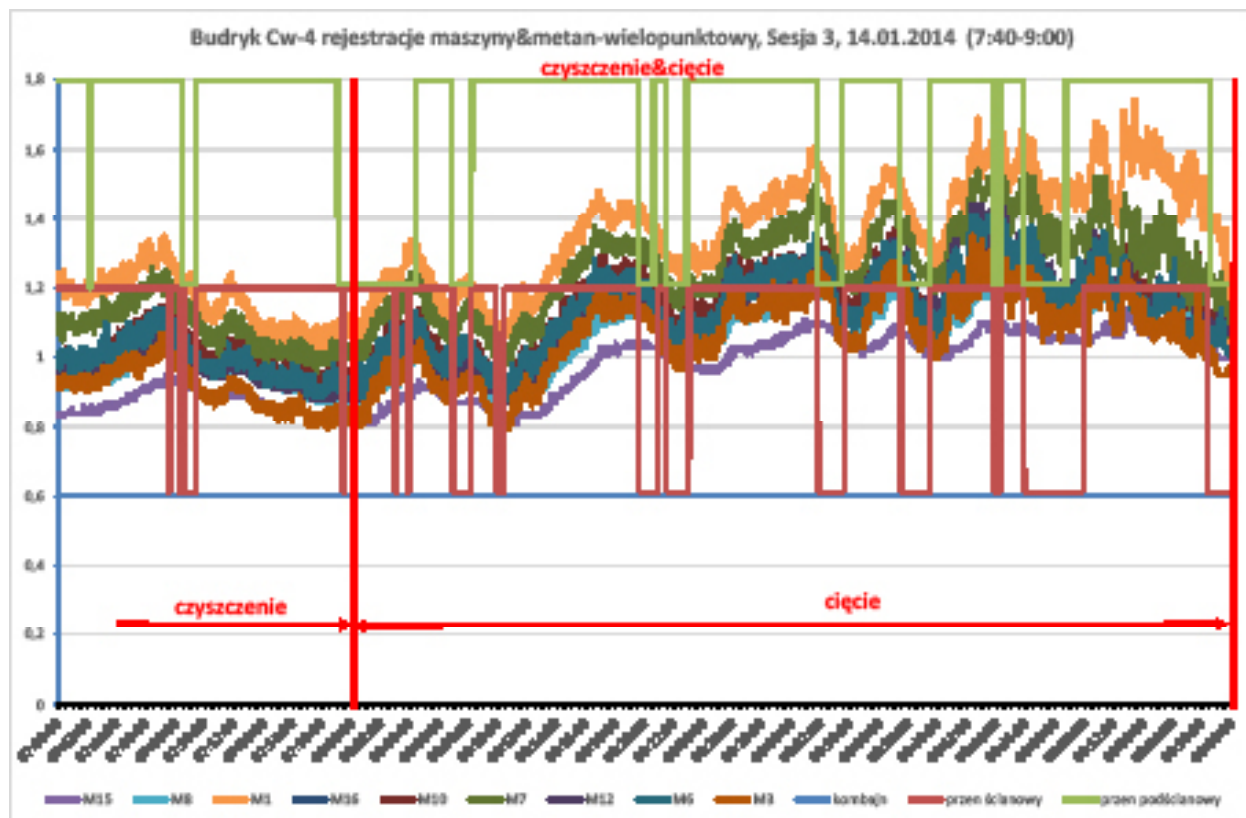
Rejestracje stężenia metanu w systemie wielopunktowym w przekroju ściany Cw-4, rejestrowane lokalnie przez metaanometry, w pobliżu 7. sekcji obudowy, dla dwóch okresów obserwacji i rejestracji parametrów powietrza w ścianie na tle rejestracji pracy maszyn pokazano na rysunku 15 w okresie od 7:30 do 9:00 oraz na rysunku 16 w okresie od 10:50 do 12:00.

W obu okresach widać wyraźne fluktuacje wartości chwilowych stężenia metanu z wzrostową tendencją w cyklach cięcia (urabiania), rejestrowane w przekroju zabudowy systemu wielopunktowego w ścianie w pobliżu 7. sekcji (Rys. 11). Można zauważyć, że w cyklach czyszczenia kombajnu jadąc do góry odjeżdżał od przekroju zabudowy metaanometrów w ścianie, natomiast w czasie urabiania kombajnu zjeżdżał na dół zbliżając się do przekroju zabudowy metaanometrów w ścianie. Ponadto widać znaczne różnice rejestrowanych stężeń metanu w przekroju ściany dochodzące nawet do $0,8\%CH_4$ w okresie urabiania i około $0,4\%CH_4$ w cyklach czyszczenia. Fakt ten potwierdza istotę miejsca zabudowy czujników metanu dla wiarygodnej oceny wydzielania metanu w zależności od pracy kombajnu, co jest również istotne dla zabezpieczeń metanometrycznych w ścianie.

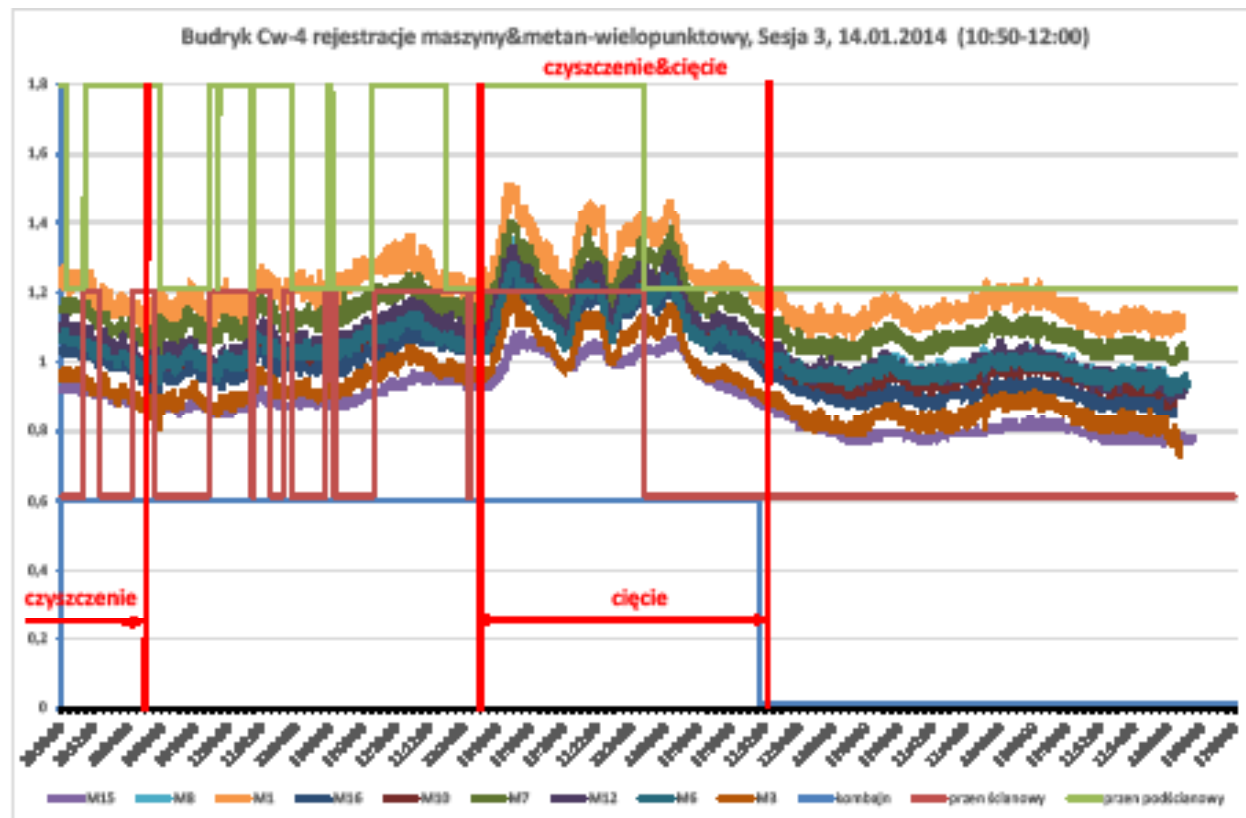
Porównanie rejestracji metanu wzdłuż ściany z rozkładem stężeń metanu w przekroju ściany

Dysponując tak szerokim materiałem badawczym wykonano również porównanie rejestracji stężenia metanu przez czujniki rozmieszczone wzdłuż ściany w systemie bezprzewodowym rozmieszczonymi jak na rysunku 2, z lokalnymi rejestracjami stężenia metanu w przekroju ściany przez metaanometry pokazane na rysunku 11.

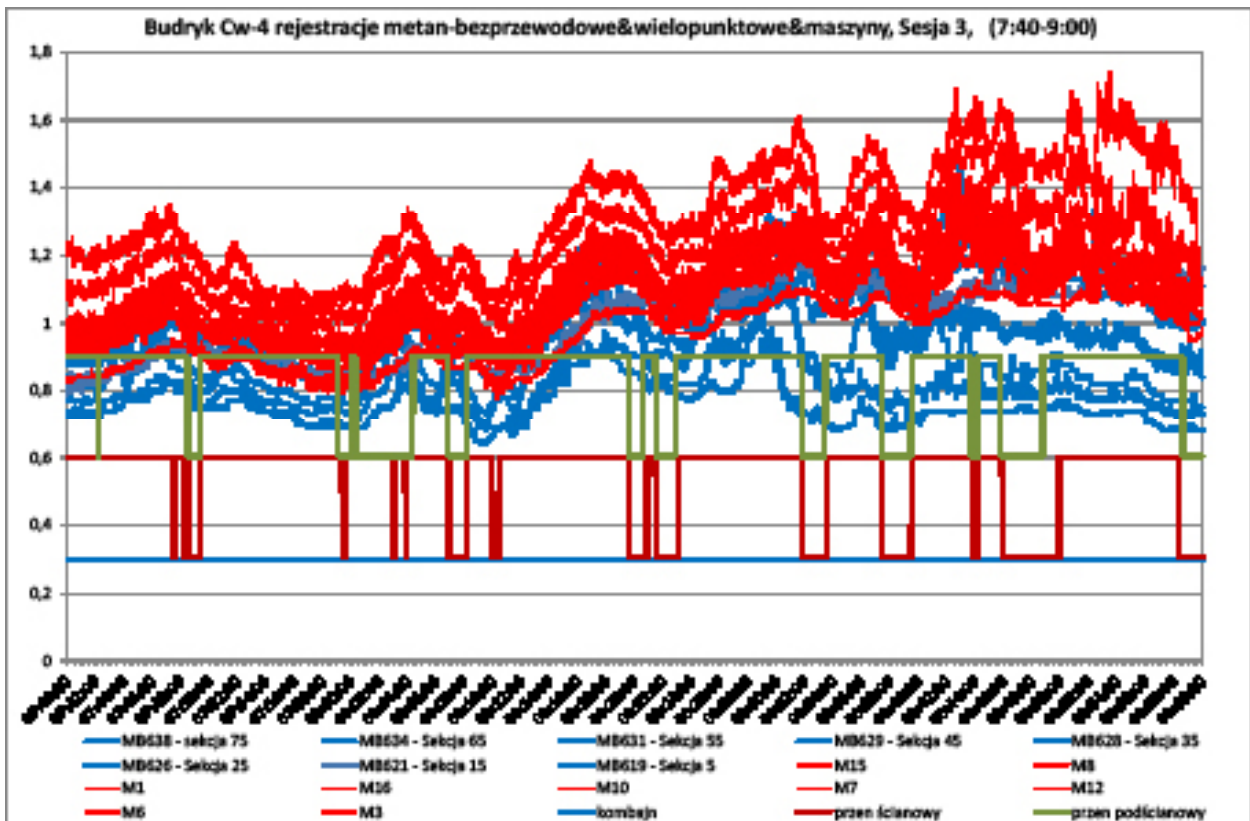
To porównanie ma znaczenie dla poszukiwania wiarygodnego miejsca lokalizacji czujnika metanu dla oceny zagrożenia metanowego w ścianie w czasie urabiania kombajnu. Z przedstawionego porównania na rysunkach 17 i 18 wynika, że w obu przypadkach tj. dla rejestracji wzdłuż ściany (linie niebieskie) jak i w przekroju ściany (linie czerwone) charakter przebiegów jest podobny i dobrze oddaje zmiany stężenia



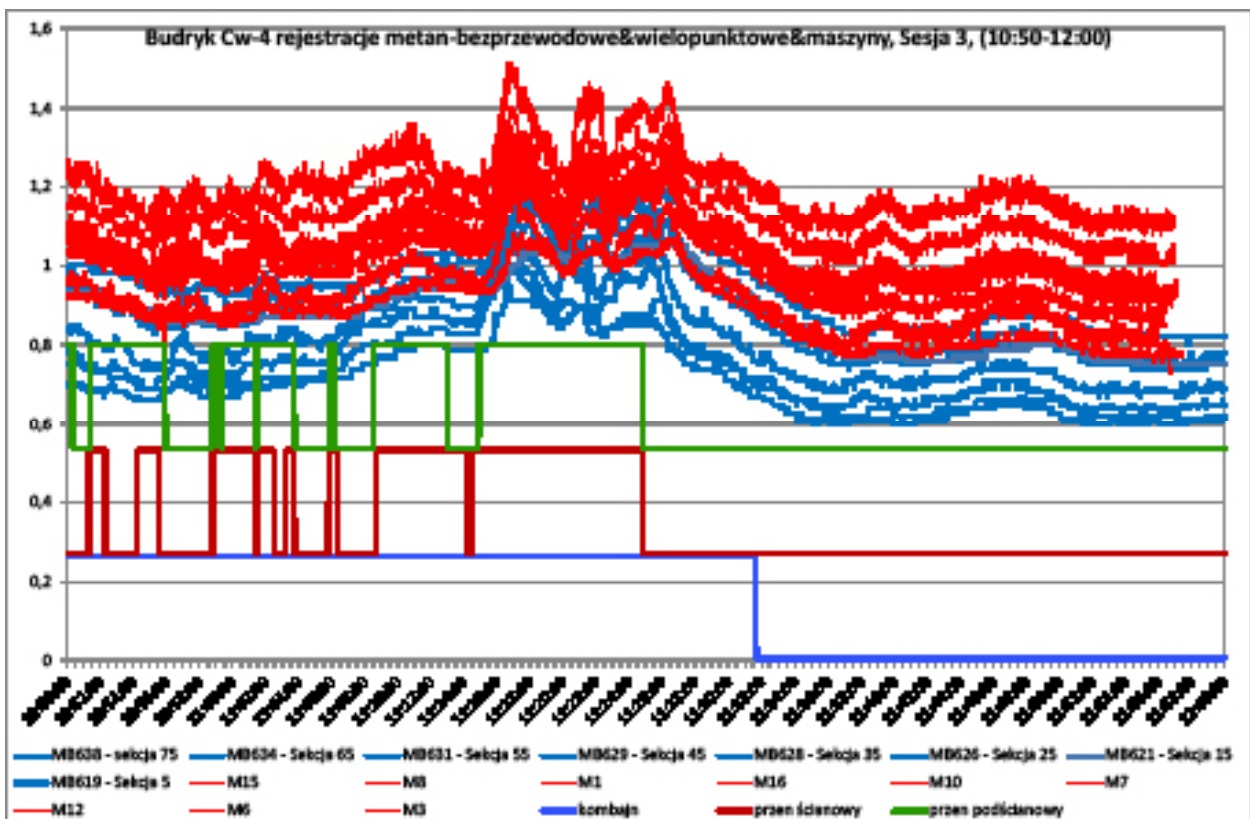
Rys. 15. Rejestracja stężenia metanu w przekroju ściany Cw-4 w systemie wielopunktowym w dniu 14.01.2014 w godzinach 7:30-9:00 na tle pracy maszyn



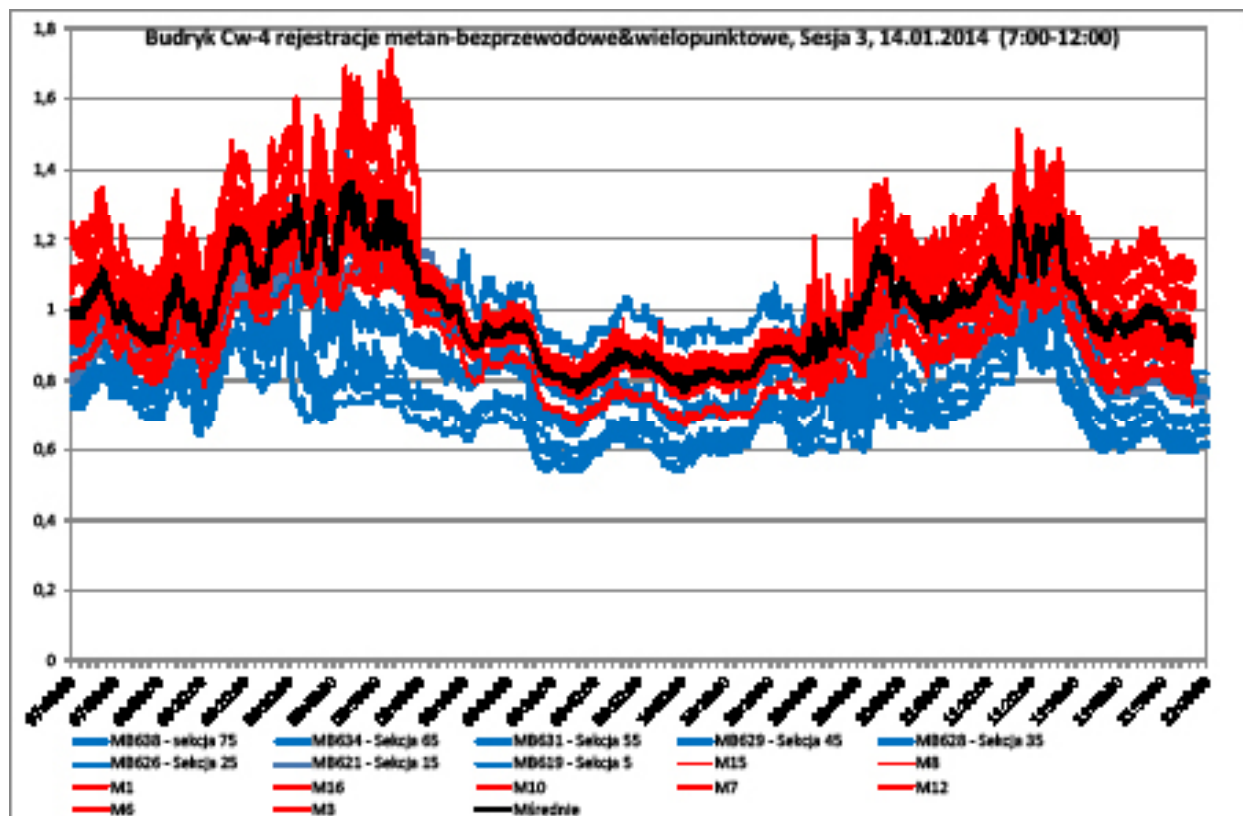
Rys. 16. Rejestracja stężenia metanu w przekroju ściany Cw-4 w systemie wielopunktowym w dniu 14.01.2014 w godzinach 10:50-12:00 na tle pracy maszyn



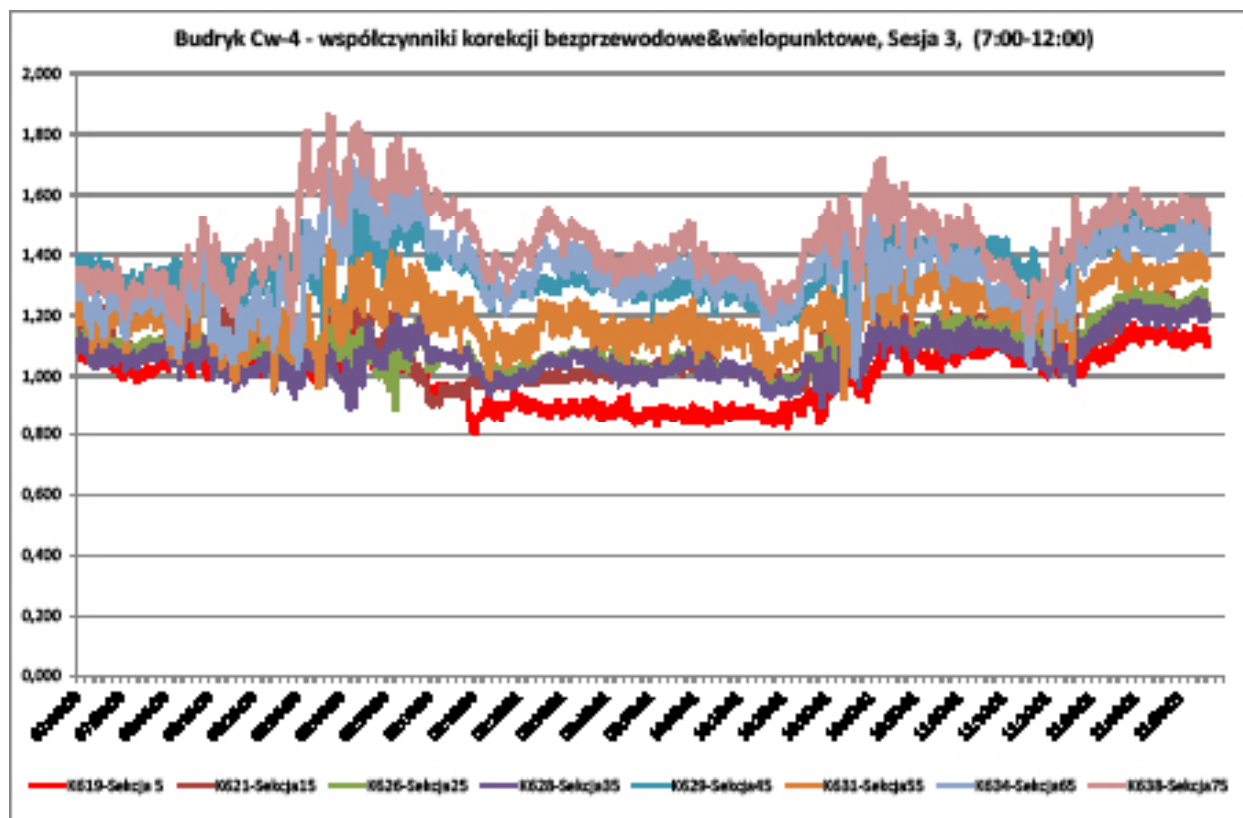
Rys. 17. Porównanie rejestracji stężenia metanu czujnikami bezprzewodowymi z systemem wielopunktowym w ścianie Cw-4 w godzinach 7:30-9:00 na tle pracy maszyn



Rys. 18. Porównanie rejestracji stężenia metanu czujnikami bezprzewodowymi z systemem wielopunktowym w ścianie Cw-4 w godzinach 10:50-12:00 na tle pracy maszyn



Rys. 19. Porównanie rejestracji stężenia metanu czujnikami bezprzewodowymi z systemem wielopunktowym w ścianie Cw-4 na tle średniego stężenia w przekroju ściany Cw-4



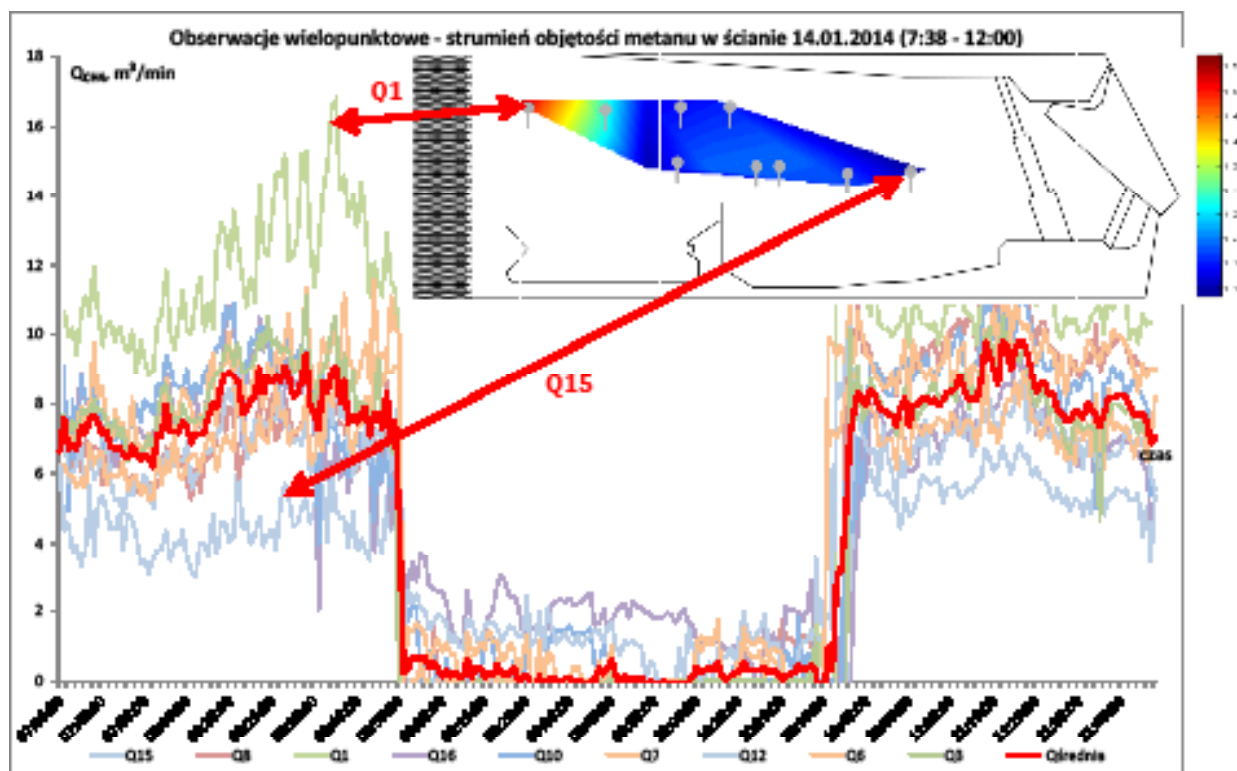
Rys. 20. Współczynnik korekcji stężenia metanu dla czujników wzdłuż ściany do średniego stężenia w systemie wielopunktowym w ścianie Cw-4

metanu w wyniku pracy maszyn, chociaż wartości stężenia metanu rejestrowane w przekroju są wyższe niż te wzdłuż ściany.

Na rysunku 19 czarną linią pokazano przebieg uśrednionego stężenia metanu dla rejestracji metaanemometrów w przekroju ściany, a na rysunku 20 wykreślono oszacowanie współczynnika korekcji stężenia metanu dla czujników wzdłuż ściany w odniesieniu do średniego stężenia w systemie wielopunktowym (umieszczonego przy sekcji 7 obudowy) w ścianie Cw-4. Współczynnik korekcji w tym przykładzie waha się wokół poziomu 1 dla najbliższego czujnika umieszczonego przy 5. sekcji obudowy i różni się coraz bardziej w miarę oddalania się czujników od sekcji 7.

Pozwala to stwierdzić, że stężenia metanu rejestrowane przez czujniki rozmieszczone wzdłuż ściany dobrze pokazują średnie stężenia metanu w przekroju ich zabudowy.

Rejestracje strumienia objętości metanu w systemie wielopunktowym w ścianie Cw-4



Rys. 21. Rejestracja strumienia objętości metanu w przekroju ściany Cw-4 w systemie wielopunktowym

Na rysunku 21 pokazano rozkład strumienia objętości metanu obliczonego dla lokalnych rejestracji metaanemometrów. W obliczeniach uwzględniono prędkości powietrza i stężenia metanu w odniesieniu do powierzchni przekroju poprzecznego kanału ściany ($S = 8,7 \text{ m}^2$). Z uzyskanego obrazu strumienia objętości metanu w przekroju ściany wynika, że maksymalny strumień występuje w pobliżu ociosu, co może sugerować, że większość metanu dopływającego do przestrzeni kanału ściany w czasie urabiania kombajnem pochodzi z odkrytej calizny węglowej.

5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania rozszerzonego o dodatkowe metanomierze systemu gazometrii automatycznej potwierdziły poprawność przyjętych założeń oraz działania takiego rozwiązania.

Wszystkie czujniki miały zakres $0-100\% \text{CH}_4$, ale były o różnej rozdzielczości. Te pierwsze, stanowiące podstawowe zabezpieczenie metanometryczne, posiadają tradycyjnie rozdzielczość $0,1\% \text{CH}_4$, natomiast dodatkowe metanomierze wykorzystywane do badań posiadały rozdzielczość $0,01\% \text{CH}_4$. Dla celów badawczych rozdzielczość standardowa jest często niewystarczająca, np. do pozyskiwania danych o zmianie

stężenia metanu w celu walidacji modeli numerycznych, stąd uzyskanie w metanomierzach dodatkowych rozdzielczości o rząd lepszej ($0,01\%CH_4$) jest istotną poprawą możliwości wykorzystania systemu gazometrii dla pozyskiwania danych w celach badawczych.

Dokonano długookresowej, w okresie sierpień-grudzień, rejestracji parametrów powietrza w systemie gazometrii automatycznej w ścianie Cw-4 KWK Budryk. W czasie przeprowadzonych badań długookresowych oraz licznych eksperymentów uzyskano ciekawy materiał poznawczy poszerzający wiedzę o zmianie rozkładu metanu w kanale ściany w czasie pracy kombajnu w ścianie. Badania pokazały, że chociaż czujniki były umieszczone za stojakami hydraulicznymi (podporami), w okolicy miejsca połączenia stropnicy obudowy z osłoną odzawałową, to jednak właściwie rejestrowały zmiany stężenia metanu spowodowane pracą kombajnu w ścianie.

Ważnym elementem prowadzonych badań była równoczesna rejestracja stężenia metanu wzdłuż ściany wraz zapisami czasu pracy kombajnu i przenośnika ścianowego w ścianie Cw-4 w systemie ZEFIR oraz informacją o kierunku jazdy kombajnu (góra/dół), a także rodzaju pracy (urabianie/czyszczenie), co pozwoliło na przeprowadzenie analizy i oceny wpływu robót w ścianie na rozkład stężenia metanu wzdłuż ściany. Należy jednak podkreślić, że brak precyzyjnej kontroli położenia kombajnu w ścianie oraz chronometrażu pracy kombajnu utrudnia interpretację wnioskowania dotyczącą badania wpływu pracy kombajnu na zakres i dynamikę zmian stężenia metanu.

Ważnym elementem badań były rejestracje stężenia metanu w przekroju poprzecznym ściany uzyskane w systemie wielopunktowym, które pokazały, że stężenia metanu rejestrowane wzdłuż ściany dobrze oddają zmiany stężenia metanu w czasie pracy kombajnu w ścianie. Ponadto współczynnik korekcji pomiędzy stężeniem metanu dla czujników wzdłuż ściany do średniego stężenia w systemie wielopunktowym w ścianie Cw-4 są bliskie 1 dla czujnika położonego najbliżej przekroju zabudowy systemu wielopunktowego. Badania rozkładu stężenia metanu (strumienia objętości powietrza) w przekroju ściany wykonane systemem wielopunktowym pokazały znacznie wyższą emisję metanu z ociosu aniżeli ze strony odzawałowej.

Artykuł został opracowany w zadaniu 2.4. w ramach prac statutowych Instytut Mechaniki Górniczej Polskiej Akademii Nauk w roku 2018

Literatura

- Cecala A.B., Zimmer J.A., Thimons E.D., 1994: *Determination of optimal longwall face methane monitoring locations*. Mining Engineering.
- Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., Wasilewski S., 2007: *Walidacja komputerowego programu symulacji wentylacji VentMet dla rejonu ściany, z uwzględnieniem zmiennych w czasie źródeł metanu, związanych z cykliczną pracą kombajnu*. Prace Instytutu Mechaniki Górniczej PAN, Tom 9, nr 1-4, s. 3-26.
- Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., Wasilewski S., 2009: *Walidacja procedur programu VentZroby z wykorzystaniem systemu monitoringu stanu atmosfery kopalni*. Prace Instytutu Mechaniki Górniczej PAN, Tom 11, nr 1-4, s. 79-112.
- Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., Wasilewski S., 2010: *Validation of computer simulation of air parameters at a longwall vs. results of an in situ experiment*, 13th United States North American Mine Ventilation Symposium 2010 – Hardcastle&McKinnin, s. 407-414).
- Jamróz P., Wasilewski S., 2016: *Badania rozkładu stężenia metanu wzdłuż ściany wydobywczej w warunkach ruchomych*. Prace Instytutu Mechaniki Górniczej PAN, Tom 18, nr 1, s. 3-11.
- Jaszczuk M., 2008: *System zintegrowanego sterowania układem technologicznym ściana wydobywcza – punkt załadunkowy*, Monografia nr 2, KOMAG, Katowice.
- Schatzel S.J., Karacan C.O., Krog R.B., Esterhuizen G.S., Goodman V.R., 2008: *Guidelines for the Prediction and Control of Methane Emissions on Longwalls*. NIOSH, Circular 9502, Pittsburgh.
- Wasilewski S., Bojarski K., Kurpas M., 2007: *Badania eksperymentalne stanów nieustalonych parametrów powietrza w ścianie w czasie urabiania kombajnem*. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa. Nr 6(437) czerwiec 2007, Wyd. EMAG.
- Wasilewski S., Branny M., 2008: *A preliminary study of the unsteady states of the ventilation parameters at the longwall face during the shearer operation*. Proceedings of 12th U.S./North American Mine Ventilation Symposium, June, 2008, Reno, Nevada, USA, pp. 107-114.).
- Wasilewski S., 2010: *Obserwacja zaburzeń parametrów powietrza wywołanych pracą kombajnu w ścianie B-6 pokł. 358/1 w KWK „BUDRYK” S.A.* Przegląd Górniczy, Nr 66, nr 3-4, 45-57.
- Projekt techniczny eksploatacji ściany Cw-4 w pokładzie 364/2 KWK Budryk JSW SA, prowadzonej w warunkach specjalnych Jastrzębie 2013.

- Raport z realizacji etapu 8, pt. *Badania eksperymentalne rozszerzonego systemu wraz z weryfikacją metodami symulacji komputerowych, w tym z wykorzystaniem modeli 3D*. Pod redakcją Dziurzyński W., zadania Nr 8 pt. Strategicznego projektu badawczego pt. Poprawa bezpieczeństwa pracy w kopalniach, IMG-PAN, Kraków, luty 2014.
- Raport z realizacji etapu 11, pt. *Analiza i interpretacja danych rejestrowanych w kopalnianym systemie nadzoru w czasie prób rozszerzonego systemu*. Pod redakcją Wasilewski S., zadania Nr 8 pt. Strategicznego projektu badawczego pt. Poprawa bezpieczeństwa pracy w kopalniach, AGH WGiG, Kraków, grudzień 2012.

Experimental research on the impact of cutting with a shearer on the conditions of longwall ventilation in the area of the mining

Summary

Research conducted in the Polish and global mining shows that the methane hazard has a significant impact on the safety of machine operators in the longwall, and is also limiting the loss of longwall work: The mining practice shows that in methane coal mines, methane is often the basic limitation for modern and high-efficiency longwall complexes. Research on the impact of mining with the combine on aeration conditions in the longwall and the formation of transient air velocities and methane concentrations were conducted in the Polish mines Budryk and Bielszowice.

Monitoring systems used in hard coal mines provide a lot of information on the status of air parameters in mining longwalls and adjacent excavations. Regardless of the current control and monitoring of parameters in gasometry systems, in-situ experiments are carried out in the databases and can be used to verify numerical models.

The article selected observations and tests carried out in the Cw-4 longwall in board 364/2 of the Budryk mine. In observation of the methane state in the Cw-4 longwall, additional sensors installed in the end part of the longwall from the side of the gob and registrations of air velocity and methane concentration in the multipoint system built in the selected longwall cross-section were used regardless of the air parameters recorded in the monitoring system.

The data from the extended system were recorded on an ongoing basis in the archives of the monitoring system, and the multipoint system was directly stored in the metaanemometers, which allowed to perform a comparative analysis of the obtained records from many methane detectors. An important element of the analyzes was the simultaneous registration of the methane concentration of the longwall together with information on the operating time, the direction of the shearer and the type of work the mining / cleaning.

Keywords: monitoring of methane concentration, ventilation of mines, measurements of ventilation parameters