

Walidacja procedur programu VentZroby z wykorzystaniem systemu monitoringu stanu atmosfery kopalni

WACŁAW DZIURZYŃSKI, ANDRZEJ KRACH, TERESA PAŁKA, STANISŁAW WASILEWSKI

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

Streszczenie

Systemy monitorowania parametrów powietrza niezależnie od spełnienia wymagań zabezpieczeń gazometrycznych dostarczają znacznej liczby danych pomiarowych. Pozyskane z tych systemów dane zarówno wzbogacają wiedzę o procesach zachodzących w wyrobiskach podziemnych jak i pokazują związki i wpływ pracy maszyn oraz procesów technologicznych na zmienność parametrów przewietrzania w rejonach ścian.

Współczesna metodyka badań w wielu dziedzinach oparta jest na metodach badań procesów z wykorzystaniem metod symulacji komputerowej. Rozwój systemów symulacji komputerowej procesów wentylacji jest w ostatnim czasie widoczny w wielu obszarach, w zagadnieniach pożarowych, rozkładu metanu w zrobach czy ostatnio rozkładu metanu w rejonie ścian wyposażonych w kombajny.

Wiarygodność wyników symulacji zależy w dużej mierze od poprawności przyjętych modeli oraz właściwego dopasowania parametrów modeli do rzeczywistych warunków. Temu służą metody identyfikacji i walidacji modeli na podstawie pomiarów i eksperymentów *in-situ*.

Podstawą walidacji procedur programu komputerowego VentZroby jest eksperyment badawczy, który został przeprowadzony w ścianie 841A pokład 405/2wg w kopalni Bielszowice. Eksperyment polegał na długookresowej obserwacji rejonu ściany 841A w kopalnianym systemie monitoringu oraz specjalnie przygotowanym systemie badawczym w okresie od sierpnia do października 2009 roku. Uzyskano interesujące dane pomiarowe, które wykorzystano dla celów walidacji procedur programu, jak również wielowymiarowych modeli matematycznych oraz do oceny pracy czujników pomiarowych systemu monitoringu stanu atmosfery kopalni. Jednocześnie w rejonie ściany wykonano złożone precyzyjne pomiary wentylacyjne, które wykorzystano dla opracowania modelu numerycznego rejonu ściany 841A pokład 405/2wg i wyrobisk przyległych wraz ze zrobami.

W artykule przedstawiono kolejne wyniki walidacji programu komputerowego *VentZroby* otrzymane przez porównanie wyników pomiarów uzyskanych z eksperymentów z wynikami symulacji komputerowej wykonanej dla tego rejonu kopalni, przy czym do walidacji wybrano dwa okresy pomiarowe z dnia 12.08.09 oraz z dnia 01.10.09. Z uwagi na długookresową obserwację rejonu przez system monitoringu konieczna była modyfikacja modelu emisji metanu z kalizny węglowej przed rozpoczęciem urabiania kombajnem w ścianie. Modyfikacja modelu matematycznego miała na celu wyznaczenie rozkładu metanu wzdłuż ściany po dłuższym postoju kombajnu, a przed rozpoczęciem urabiania. Rozpatrywano pracę kombajnu w dwóch cyklach, z urabianiem w jedną stronę zgodną z kierunkiem przepływu powietrza i z postojami przenośników w czasie przerw w pracy kombajnu. Wykonane eksperymenty wraz z obserwacją pracy kombajnu wniosły nowe elementy dla przygotowania danych wejściowych dla programu symulacyjnego oraz ustalenia struktury i parametrów sieci wentylacyjnej ze zrobami z uwzględnieniem parametrów eksploatacyjnych kombajnu oraz parametrów modelu emisji metanu ze ściany i z urobku towarzyszących eksploatacji.

Obliczone wyniki symulacji i ich porównanie z wynikami pomiarów w kopalni pokazują bogate możliwości programu *VentZroby* dla prognozowania stanu wentylacji rejonu ściany urabianej kombajnem, ale równocześnie wskazały niedoskonałości istniejących rozwiązań wyznaczając kierunki dalszych badań modelowych i eksperymentalnych.

Słowa kluczowe: wentylacja kopalń, walidacja, zagrożenie metanowe, praca kombajnu, system monitoringu

1. Wprowadzenie

Każdy kolejny eksperyment badawczy przeprowadzony na rzeczywistym obiekcie jakim jest rejon ściany eksploatacji węgla wnosi wiele interesujących obserwacji dla badaczy, jak również dostarcza dane pomiarowe, które stanowią cenne źródło informacji o przebiegu złożonych zjawisk przepływowych w wyrobiskach górniczych szczególnie w warunkach zagrożenia metanowego. W ramach prac walidacji programów komputerowych opracowanych w IMG PAN wykonano kolejny eksperyment badawczy, który został przeprowadzony w ścianie 841A pokład 405/1 w kopalni Bielszowice. Należy zaznaczyć, że przygotowanie i realizację eksperymentu przeprowadzono we współpracy z Instytutem Technik Inowacyjnych EMAG, który w ramach prac w programie Eureka 3943 wyposażył rejon ściany w dodatkowe czujniki prędkości powietrza i stężenia metanu jak również w czujnik pracy kombajnu. Celem eksperymentu ITI EMAG była obserwacja rejonu ściany w warunkach zagrożenia metanowego w aspekcie rozmieszczenia czujników dla nowego podejścia do zabezpieczeń metanometrycznych w ścianie i do sterowania procesem urabiania kombajnem ścianowym. Jak z powyższego widać, rozwój metod prognozowania procesu wentylacji w oparciu o specjalistyczne programy komputerowe jest w pełni uzasadniony, a zwalidowane narzędzia obliczeniowe pozwolą na istotne wsparcie w poszukiwaniu nowych rozwiązań bezpiecznej i efektywnej eksploatacji.

Zaplanowany eksperyment polegał na obserwacji w okresie od sierpnia do października 2009 roku rejonu ściany 841A w kopalnianym systemie monitoringu oraz specjalnie przygotowanym systemie badawczym wyposażonym w dodatkowe czujniki prędkości powietrza i stężenia metanu. W rezultacie uzyskano interesujące dane pomiarowe, które wykorzystano dla celów walidacji programu komputerowego *VentZroby*. Uzyskany materiał pomiarowy jest również przydatny dla walidacji wielowymiarowych modeli matematycznych oraz do oceny pracy czujników pomiarowych systemu monitoringu stanu atmosfery kopalni. Dodatkowo przeprowadzono w rejonie ściany złożone precyzyjne pomiary wentylacyjne, które wykorzystano dla wyznaczenia parametrów charakteryzujących przepływ powietrza, przy opracowaniu modelu numerycznego rejonu ściany 841A i wyrobisk przyległych wraz ze zrobami. Duże znaczenie przy ustalaniu warunków prowadzenia eksperymentu w kopalni Bielszowice i rozmieszczenia czujników pomiarowych miało wcześniejsze przeprowadzenie eksperymentów dla dwóch różnych ścian w kopalni Budryk, dla ściany B-5 w roku 2006 (Wasilewski i in., 2007) i ściany B-6 w roku 2008 (Dziurzyński i in., 2008). Eksperymenty były próbą odpowiedzi na pytania: jaki wpływ na zmiany rozkładu metanu oraz warunki przepływu powietrza i rozkład ciśnień w ścianie ma praca kombajnu? oraz czy na podstawie zarejestrowanych danych można dokonać walidacji programów komputerowych przydatnych do prognozowania stanu przewietrzania rejonu ściany z uwzględnieniem pracy kombajnu ścianowego oraz obszaru zrobów jako źródła dopływu metanu? Wykonane walidacje w oparciu o przeprowadzone eksperymenty w kopalni Budryk umożliwiły wykonanie pierwszego kroku walidacji zastosowanego modelu matematycznego w programie *VentZroby*, w którym wykonane prognostyczne symulacje potwierdziły jakościową zgodność z wynikami eksperymentu oraz pokazały złożoność procesu wentylacji w tak newralgicznym miejscu kopalni jakim jest ściana. W kolejnych badanych przypadkach skupiono się na istotnym elemencie modelu opisującym dopływ metanu związany z urabianiem kombajnu w ścianie prowadzonej z zawałem stropu. Prace wykonane dla walidacji pokazały kierunki dalszych badań, a w szczególności uściśliły warunki prowadzenia badań eksperymentalnych oraz wskazały na potrzebę doskonalenia matematycznego opisu zjawisk, szczególnie w zakresie dopływu metanu. Celem tych badań jest poprawa wiarygodności metody prognozowania procesu wentylacji.

Przeprowadzone badania walidacyjne na podstawie długookresowego eksperymentu przeprowadzonego w ścianie 841A w kopalni Bielszowice wykonano dla dwóch wybranych okresów pomiarowych z dnia 12.08.09 oraz z dnia 01.10.09. Z uwagi na warunki pracy kombajnu ścianowego (urabianie i długi postój) dokonano kolejnej modyfikacji modelu emisji metanu z calizny węglowej przed rozpoczęciem urabiania kombajnem w ścianie. Modyfikacja modelu matematycznego pozwoliła na odtworzenie stanu wentylacji w ścianie i wyznaczenie rozkładu metanu wzdłuż ściany po dłuższym postoju kombajnu, a przed rozpoczęciem urabiania kombajnu. Rozpatrywano pracę kombajnu w dwóch cyklach, z urabianiem w jedną stronę zgodną z kierunkiem przepływu powietrza z postojami przenośników w czasie przerw w pracy kombajnu.

2. Eksperyment pomiarowy w ścianie 841A pokład 405/1 w kopalni Bielszowice

Dotychczasowe badania i obserwacje prowadzone w ścianach kopalni Budryk (Wasilewski i in., 2007) oraz (Dziurzyński i in., 2008), 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 przemieszczając się w ścianie stanowi ruchomą przeszkodę zawężającą przekrój roboczy kanału ściany i wywołując lokalne zaburzenia prędkości powietrza oraz zwiększając mieszanie powietrza z metanem oraz dopływ metanu ze zrobów. Równocześnie badania te potwierdziły, że istnieje silna zależność tych efektów od kierunku ruchu kombajnu w stosunku do kierunku przepływu powietrza.

Badania te miały charakter krótkotrwałych eksperymentów pomiarowych, a czas ich trwania nie przekraczał jednej zmiany roboczej, a czas obserwacji wynosił jedynie kilka godzin. W czasie eksperymentu obserwacje prowadzono w oparciu o standardowe urządzenia systemu gazometrii automatycznej powszechnie używane w zabezpieczeniach metanometrycznych kopalń. Okazało się, że dla celów podejmowanych badań standardowa rozdzielczość metanomierzy, która wynosi 0,1% CH₄ nie jest niewystarczająca. Ponadto w badaniach wykorzystywano precyzyjną przenośną aparaturę kontrolno-pomiarową, którą synchronizowano w czasie z urządzeniami gazometrii automatycznej.

Badania, które podjęto w kopalni Bielszowice są kontynuacją wcześniejszych badań wykonanych w oparciu o nową aparaturę przygotowaną specjalnie pod kątem takich badań. Celem tych badań było nadal poznanie zakresu i zasięgu zaburzeń parametrów powietrza w rejonie ścian wywołanych pracą kombajnu i maszyn urabiających kompleksu ścianowego. W porównaniu z wcześniejszymi badaniami, w tym przypadku cykl roboczy kombajnu obejmował tzw. „ciącie” w czasie „jazdy kombajnu do góry” tzn. zgodnie z kierunkiem przepływu powietrza, podczas gdy w czasie „jazdy kombajnu w dół” następowało tzw. „czyszczenie”. Wszystkie urządzenia pomiarowe rozmieszczono w rejonie ściany i bezpośrednio włączono do systemu badawczego przygotowanego na bazie systemu metanometrii typu SMP-NT. Równocześnie w czasie obserwacji wykorzystywano standardowe urządzenia systemu gazometrii automatycznej powszechnie używane w zabezpieczeniach metanometrycznych kopalń. W ten sposób uzyskano warunki do prowadzenia długookresowych obserwacji w ścianie, ale także wspierać eksperymenty pomiarowe.

Cele i warunki obserwacji

Podstawowym celem prowadzonych obserwacji było rozpoznanie źródeł wydzielania metanu w rejonie ściany, oraz wyznaczenie rozkładu metanu wzdłuż ściany. Powszechnie wiadomo, że źródłem metanu wskutek urabiania kombajnem są odsłaniana calizna oraz rozkruszony węgiel, który oddaje metan zarówno na przenośniku zgrzeblowym w ścianie, ale także poza ścianą wzdłuż odstawy urobku. Bardzo ważnym źródłem metanu w rejonie ściany są zroby, ale jego dopływ jest trudno mierzalny, stąd szacuje się jego udział za pomocą bilansu metanowego w rejonie ściany.

W czasie długotrwałej kilkumiesięcznej obserwacji było możliwe uwzględnienie wpływu cykli roboczych i przerw technologicznych na zmienność parametrów powietrza w ścianie i wyrobiskach przyległych. Było to możliwe w oparciu o czujniki stacjonarne systemu zabezpieczeń gazometrycznych i dodatkowo, włączone do systemu badawczego na czas badań, stacjonarne czujniki parametrów powietrza (anemometry oraz metanomierze).

2.1. Obiekt i przebieg obserwacji

Obserwacje wpływu pracy kombajnu na wydzielanie metanu w ścianie

W czasie prowadzonych badań na bieżąco, w kopalnianym systemie dyspozytorskiego nadzoru, rejestrowano stan pracy/postój maszyn w ścianie (kombajn, przenośnik ścianowy, przenośnik zgrzeblowy oraz przenośnik taśmowy, rys. 1). Z parametrów pracy kombajnu w ostatnim okresie badań (1.10.2009) udało się dodatkowo zarejestrować wydajność pracy (obciążenie) w postaci mocy kombajnu. Niestety pozostałe parametry, jak np. położenie kombajnu w ścianie, prędkości ruchu kombajnu, rejestracje stężenia metanu na kombajnie nie były obserwowane w badanej ścianie. Ponadto wydaje się, że niezmiernie interesująca byłaby próba powiązania czasu pracy maszyn w ścianie z rzeczywistym czasem urabiania oraz parametrów technologicznych urabiania (prędkość i wydajność układu kombajnu-przenośnik).

Badania rozkładu parametrów powietrza w ścianie w czasie urabiania

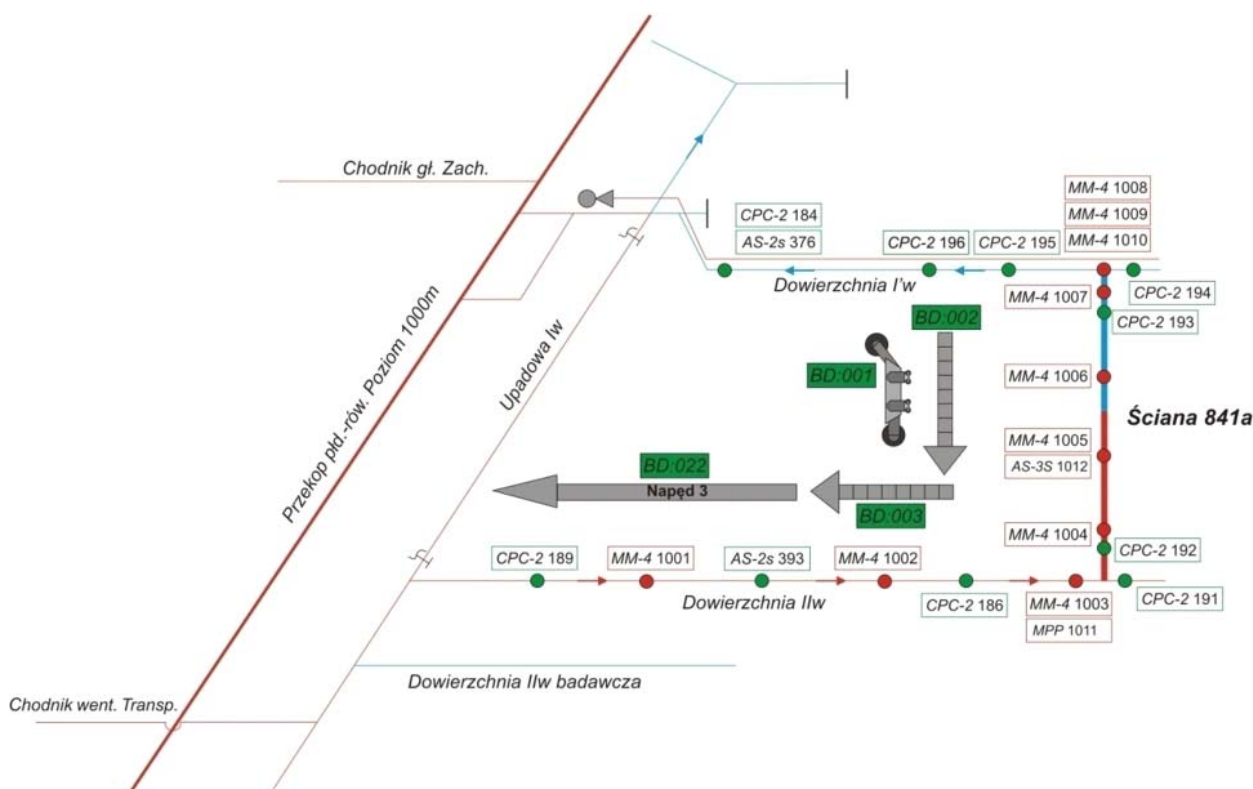
Badania rozkładu parametrów powietrza (prędkości powietrza i stężenia metanu) w rejonie ściany (rys. 1) obejmowały obserwacje tych parametrów w czasie pracy kombajnu w kilku przekrojach wzdłuż kanału roboczego ściany oraz w wyrobiskach przyległych od strony wlotu w dowiezchni I'w (wzdłuż przenośnika z odstawą urobku) oraz od strony zużytego powietrza w dowiezchni I'w.

Niestety nie udało się w ramach systemu badawczego uruchomić rejestracji stężenia metanu na kombajnie. Interesująca byłaby również próba oceny zmian parametrów powietrza w ścianie w zależności od położenia kombajnu oraz stężenia metanu w pobliżu głowicy w zależności od parametrów technologii urabiania (prędkość i wydajność układu kombajnu-przenośnik).

Obserwacje parametrów powietrza w rejonie ściany 841a prowadzono, od połowy roku 2009, z dużymi trudnościami z uwagi na silne zagrożenia tąpnięciami. W tym czasie w ścianie miały miejsce dwa zdarzenia w wyniku, których badania były przerywane i konieczna była odbudowa sieci pomiarowej. Ponadto ustanowienie w ramach profilaktyki tąpniowej, stref zagrożenia, spowodowało, że wstęp do ściany był utrudniony i nie wszystkie urządzenia pomiarowe dla rejestracji parametrów pracy kombajnu zostały na czas zabudowane. Obecnie ściana jest zatrzymana po wstrząsie z obwalem stropu, który miał miejsce 5 października 2009 roku i nadal struktura ściany oraz sieć pomiarowa są odbudowywane.

Należy zaznaczyć, że przy 2 sekundowym okresie próbkowania w systemie gazometrii automatycznej uzyskuje się bardzo dużą liczbę zarejestrowanych danych (43200 danych na dobę) dla jednego czujnika stąd konieczne było zawężenie okresu analizy do wybranych okresów czasu.

W tej sytuacji do analizy wykorzystano dane zgromadzone z obserwacji długookresowej, w dniach 11.08-14.08.2009, który stanowił rozszerzenie na okres przed i po eksperymencie przeprowadzonym w dniu 12.08.2009 roku. Drugim wybranym okresem obserwacji był 29.09-5.10.2009, który był interesujący w związku rozszerzeniem w tym czasie bazy pomiarowej o czujnik mocy, który został uruchomiony dopiero pod koniec września. Koniec tego okresu obserwacji to moment silnego wstrząsu z obwalem, po którym ściana do dziś nie została uruchomiona.



Rys. 1. Rozmieszczenie czujników w rejonie badań, w ścianie 841a

2.2. Miejsce badań – rejon ściany 841a, pokład 405/2wg

Jako miejsce obserwacji i eksperymentów wybrano rejon ściany 841a, pokład 405/2wg, poziom 1000 m w kopalni Bielszowice, którego dane techniczno-geologiczne podano w tablicach 1 i 2).

Tab. 1. Podstawowe dane techniczno-geologiczne i wyposażenie ściany 841a pokł. 405/2wg (według projektu)

Grubość całego pokładu 405/2 w części przed połączeniem z pokł. 405/2wd na pozostałej części wraz z niewybranym pokł. 405/2wd	1,05÷1,40 m (pod pokładem liczne przerosty węgla i lupka), 6,90÷8,15 m (z przerostami lupka)
Wysokość ściany	od 2,40 m do 3,00 m
Nachylenie – podłużne	4°÷16°
– poprzeczne	0°÷15°
Długość ściany	135 m÷150 m
Wybieg ściany	890 m
System ścianowy	podłużny
Kierowanie stropem	zawał
Zabiór	0,75÷0,8 m
Skłonność do samozapalenia	II grupa samozapalności
Stopień zagrożenia tapaniami	III
Kategoria zagrożenia metanowego	IV
Klasa zagrożenia wybuchem pyłu węglowego	B
Stopień zagrożenia wodnego	I
Typ obudowy	FAZOS-19/35-OzM5
Roboczy zakres wysokości obudowy	2,4 m÷3,4 m
Typ kombajnu	KSW-475W/2BPH
Prędkość kombajnu w trakcie cięcia	2,5÷4 m/min
Typ przenośnika zgrzeblowego ścianowego	PATENTUS-PAT E260
Prędkość przenośnika zgrzeblowego ścianowego PZS	1,55 m/s
Typ przenośnika zgrzeblowego podścianowego	GROT-750/S
Prędkość przenośnika zgrzeblowego podścianowego	1,5 m/s
Prędkość przenośnika taśmowego	2,56 m/s
Kruszarka	DLB 800
Urządzenie do przekładki napędu przenośnika ścianowego	urządzenie ciągnące do przekładki napędów przenośników ścianowych wykonane przez KWK „Bielszowice”
Urządzenie do przekładki przenośnika podścianowego	bezciegnowe urządzenie do przesuwania zespołów przyścianowych „BISUP-W”

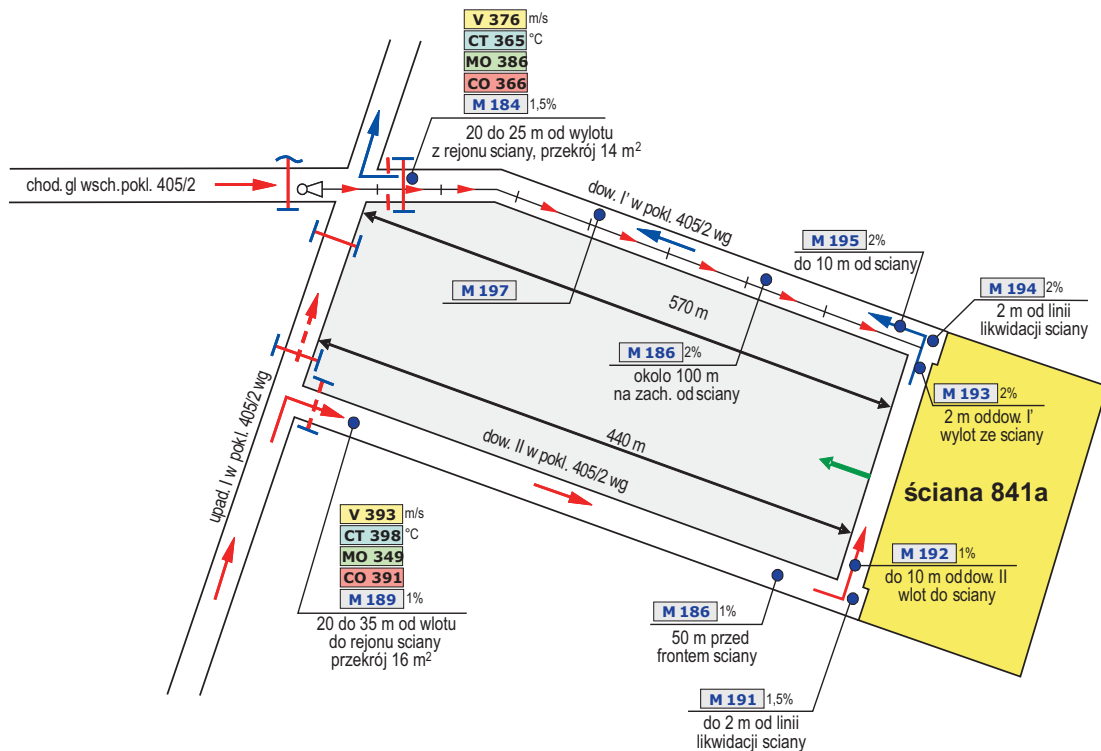
W ścianie 841a stosowano system czterozmianowy: zmiana A 6.30-12.30, zmiana B 12.30-18.30, zmiana C 18.30-0.30, zmiana D 0.30-6.30. Ściana fedrowała na dwie zmiany 12.30-18.30 i 0.30-6.30 jednak stosowano przemienność zmian wydobywczych w zależności od potrzeb.

Tab. 2. Podstawowe dane ściany 841a pokł. 405/2wg (według danych na marzec 2009)

Metanowość wentylacyjna	15,14 m ³ CH ₄ /min
Metanowość bezwzględna (marzec 2009)	18,08 m ³ CH ₄ /min
Wydatek powietrza na wlocie do rejonu ściany	1200 m ³ /min
Wydatek powietrza na wylocie z rejonu ściany	1600 m ³ /min
Długość ściany	134,7 m
Wydobycie dobowe (marzec 2009)	1507 t/dobę – zmiany B1 i C2
Przerwy w wydobywaniu	zmiana A i B1 oraz sobota i niedziela

Zabezpieczenia metanometryczne w systemie gazometrii automatycznej

Zabezpieczenie metanometryczne rejonu ściany 841a w pokładzie 405/2wg rozwiązano w oparciu o metanomierze typu CPC-2 o działaniu ciągłym, które razem z czujnikami stężenia tlenu węgla, tlenu oraz prędkości powietrza zostały włączone do systemu gazometrii automatycznej typu KSP-2 z czasem



Rys. 2. Lokalizacja czujników gazometrii automatycznej w rejonie ściany 841a

rejestracji co 8 sekund włączonym do kopalnianego systemu dyspozytorskiego nadzoru typu ZEFIR NT stosowanych w kopalni Bielszowice.

Lokalizację czujników zabezpieczenia gazometrycznego w rejonie badań, w ścianie 841a pokazano na rysunku 2, a ich parametry podano w tablicy 3.

Tab. 3. Czujniki kopalnianego systemu gazometrii automatycznej i kopalnianego systemu nadzoru ZEFIR zlokalizowane w ścianie 841a

Lp.	Typ	Numer	Jednostka/ rozdzielczość	Rodzaj	Lokalizacja
1	2	3	4	5	6
1	CPC-2	184	% CH ₄ / 0,1	R/W 1,5 %CH ₄	Dowierzchnia I'w – wylot z rejonu ściany, 20-25 mb na wschód od upadowej Iw
2	CSTW-3/2	366	ppm / 1	R	
3	AS-2S	376	m/s / 0,1	R/W < 0,4 m/s	
4	CST-3	386	°C / 0,1	R	
5	CTP-2	365	% CH ₄ / 0,1	R	
6	CPC-2	196	% CH ₄ / 0,1	R/W 2 % CH ₄	Dowierzchnia I'w – ok.100 mb na północny-zachód od skrzyżowania z wyrobiskiem ścianowym
7	CPC-2	195	% CH ₄ / 0,1	R/W 2 % CH ₄	Dowierzchnia I'w – do 10 mb na północny-zachód od ściany
8	CPC-2	194	% CH ₄ / 0,1	R/W 2% CH ₄	Dowierzchnia I'w – do 2 mb na północny-zachód od linii likwidacji wyrobiska
9	CPC-2	193	% CH ₄ / 0,1	R/W 2% CH ₄	Ściana – wylot ze ściany, 2 mb na południowy-zachód od dowierzchni I'w
10	CPC-2	192	% CH ₄ / 0,1	R/W 1 % CH ₄	Ściana – wlot do ściany, do 10 mb. na północ od skrzyżowania z dowierzchnią IIw
11	CPC-2	191	% CH ₄ / 0,1	R/W 1 % CH ₄	Dowierzchnia IIw – do 2 mb na pln.-zach. od linii likwidacji wyrobiska
12	CPC-2	186	% CH ₄ / 0,1	R/W 1 % CH ₄	Dowierzchnia IIw – do 50 mb przed frontem ściany

1	2	3	4	5	6
13	AS-2S	393	m/s / 0,1	R/W < 0,4 m/s	Dowierzchnia IIw – wlot do rejonu ściany, 30-50 mb na południowy-wschód od upadowej Iw
14	CPC-2	189	% CH ₄ / 0,1	R/W 1 % CH ₄	Dowierzchnia IIw – wlot do rejonu ściany, 25-35 mb na południowy-wschód od upadowej Iw
15	CSTW-3/2	391	ppm / 1	R	
16	CSO2	394	% O ₂ / 0,1	R	
17	CTP-2	398	°C / 0,1	R	
18	Czujniki	001		R	
19	binarne:	002		R	Przenośnik PZP
20	0 – postój	003		R	Przenośnik Grot
21	1 – praca	022		R	Napęd przenośnika taśmowego 3
22		023		R	Napęd przenośnika taśmowego 2
23		024		R	Napęd przenośnika taśmowego 1

2.3. Rozmieszczenie czujników systemu badawczego w rejonie ściany

Na okres badań w wyrobiskach rejonu ściany 841a zostały zabudowane dodatkowe czujniki (tablica 4), które włączono do systemu badawczego kontroli i rejestracji danych zbudowanego na bazie CMC/SMP NT.

W czasie prowadzonych obserwacji wykorzystano dodatkowe czujniki parametrów powietrza, w tym:

- anemometry typu AS-2 (standardowe), o zakresie ± 5 m/s,
- anemometr typu MPP nowej konstrukcji, o zakresie ± 5 m/s,
- metanomierze typu MM-4, o zakresie 0÷100% CH₄, z rozdzielczością 0,01% CH₄, czyli podwyższonej w stosunku do rozdzielczości standardowej metanomierzy (0,1% CH₄),
- czujniki ciśnienia powietrza typu THP-2, o zakresie 800-1300 hPa,

Tab. 4. Czujniki systemu badawczego w ścianie 841a

Lp.	Typ	Numer	Jednostka/ rozdzielczość	Lokalizacja
1	MM-4	MM1001	% CH ₄ / 0,01	Dowierzchnia IIw – 400 mb na zachód od skrzyżowania z wyrobiskiem ścianowym
2	MM-4	MM1002	% CH ₄ / 0,01	Dowierzchnia IIw – 200 mb na zachód od skrzyżowania z wyrobiskiem ścianowym
3	MM-4	MM1003	% CH ₄ / 0,01	Dowierzchnia IIw – na skrzyżowaniu z wyrobiskiem ścianowym
4	MM-4	MM1004	% CH ₄ / 0,01	Ściana – 25 m na północ od skrzyżowania z dowierzchnią IIw
5	MM-4	MM1005	% CH ₄ / 0,01	Ściana – 55 m na północ od skrzyżowania z dowierzchnią IIw
6	MM-4	MM1006	% CH ₄ / 0,01	Ściana – 85 m na północ od skrzyżowania z dowierzchnią IIw
7	MM-4	MM1007	% CH ₄ / 0,01	Ściana – 115 m na północ od skrzyżowania z dowierzchnią IIw
8	MM-4	MM1008	% CH ₄ / 0,01	Dowierzchnia I'w – skrzyżowanie z wyrobiskiem ścianowym
9	MM-4	MM1009	% CH ₄ / 0,01	
10	MM-4	MM1010	% CH ₄ / 0,01	
11	MPP	AN1011	m/s / 0,1	Dowierzchnia IIw – skrzyżowanie z wyrobiskiem ścianowym
12	AS-3	AN1012	m/s / 0,1	Ściana – 55 m na północ od skrzyżowania z dowierzchnią IIw
13	THP-2	TP1131	°C / 0,1	
14		RH1132	% / 1	
15		BA1133	hPa / 0,01	
16	THP-2	TP1121	°C / 0,1	
17		RH1122	% / 1	
18		BA1123	hPa / 0,01	
19	THP-2	TP1111	°C / 0,1	Ściana – 115 m na północ od skrzyżowania z dowierzchnią IIw
20		RH1112	% / 1	
21		BA1113	hPa / 0,01	

Liczba czujników zlokalizowanych w okresie badań w rejonie ściany 841a, to 4 anemometry oraz 19 metanomierzy. Jeszcze nigdy w czasie badań nie było tak dużej liczby metanomierzy zabudowanych w rejonie badań, przy czym należy nadmienić, że tylko w ścianie zabudowano ich 6, w tym 4 ramach systemu badawczego.

Wszystkie czujniki włączono do systemu badawczego, w którym parametry powietrza rejestrowano w cyklu raz na 2 sekundy. Dodatkowo w systemie badawczym archiwizowano dane z kopalnianego systemu dyspozytorskiego nadzoru ZEFIR NT, w którym standardowo były dostępne dane z systemu gazometrii automatycznej (KSP-2) i informacje dwustanowe o pracy urządzeń i maszyn.

Obserwację rozkładu stężenia metanu w rejonie ściany 841a prowadzono w oparciu o czujniki, zlokalizowane w prądzie świeżego powietrza do ściany 841a (dowierzchnia IIw) oraz w prądzie zużytego powietrza ze ściany (dowierzchnia I'w). W celach bilansowych możliwe było oszacowanie dopływu metanu z urobku transportowanego ze ściany 841a za pomocą dodatkowych czujników rozmieszczonych nad przenośnikiem transportującym urobek ze ściany w prądzie świeżego powietrza w dowierzchni IIw. Kontrolę źródeł dopływu metanu bezpośrednio w ścianie, oparto na dodatkowych czujnikach metanu rozmieszczonych wzdłuż kanału ściany 841a.

Rozmieszczenie czujników dodatkowych podłączonych do systemu badawczego, pokazano na rysunku 1, w kolorze czerwonym, a czujników standardowego systemu zabezpieczeń gazometrycznych pokazano na rysunku 1 w kolorze zielonym. Parametry technologiczne kombajnu (tablica 5) były obserwowane i rejestrowane w oparciu o dodatkowe czujniki umieszczone na kombajnie i włączone do systemu UMPK monitorowania i sterowania kombajnem ścianowym.

Tab. 5. Dane pobierane łączem modemowym z układu UMPK pomiaru mocy czynnej i położenia kombajnu ścianowego

Lp.	Typ	Numer (nazwa)	Jednostka/rozdzielczość	Lokalizacja
1	CVD1000	DROGA	m / 0,1	Komora aparaturowa kombajnu
3		PREDKOŚĆ	m/min. / 0,1	
2	P10	MOC	W / 1	Skrzynka rozdzielcza na stacji kompaktowej

2.4. Wybrane obserwacje parametrów powietrza w ścianie 841a

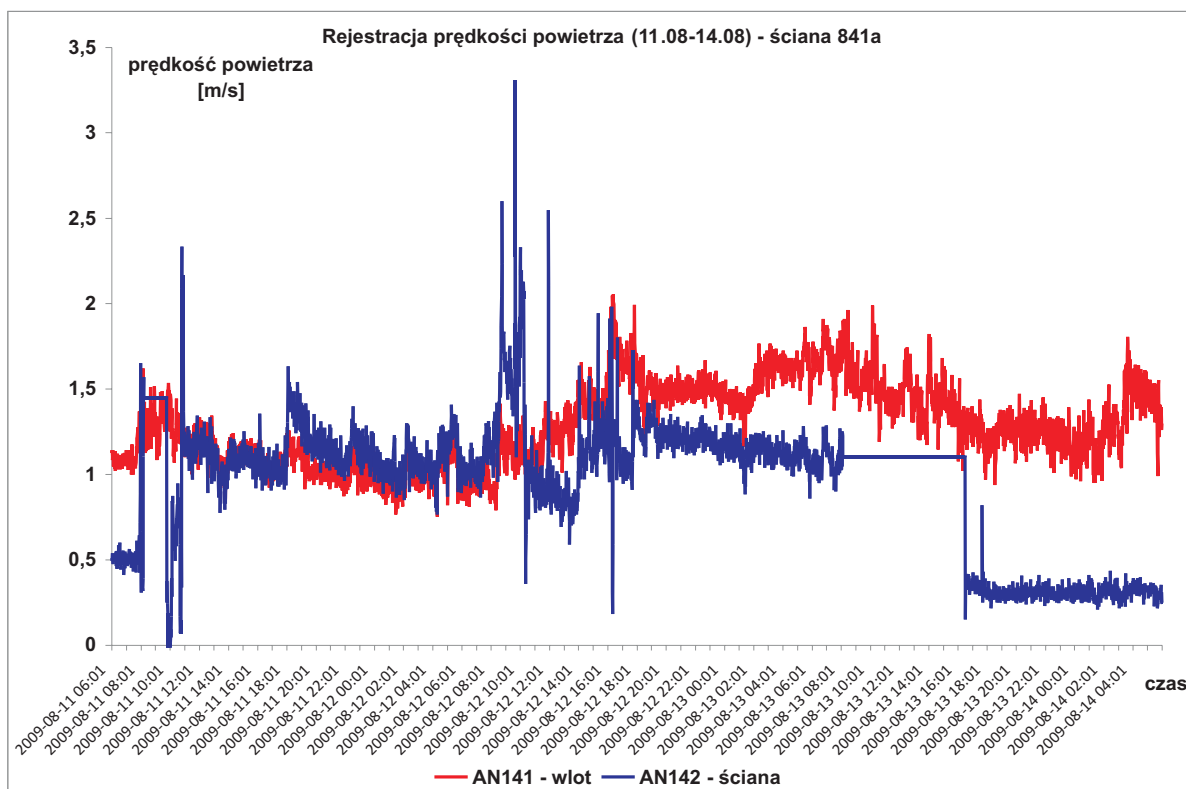
Obserwacje parametrów powietrza w dniu 12.08.2009

Eksperyment pomiarowy przeprowadzony w dniu 12.08.2009, miał miejsce w pierwszym okresie obserwacji tj. 11.08.2009-14.08.2009. W tym czasie można zauważyć, że zmiany prędkości powietrza (rys. 3) rejestrowane przez anemometr, zabudowany około 30 m przed wlotem do ściany (AN141), pokazują znacznie mniejsze wahania prędkości, powietrza aniżeli zmiany rejestrowane przez anemometr zabudowany w ścianie, około 55 m od wlotu (AN142). Fakt ten potwierdza znaczne zaburzenia prędkości powietrza w ścianie wywołane ruchem kombajnu.

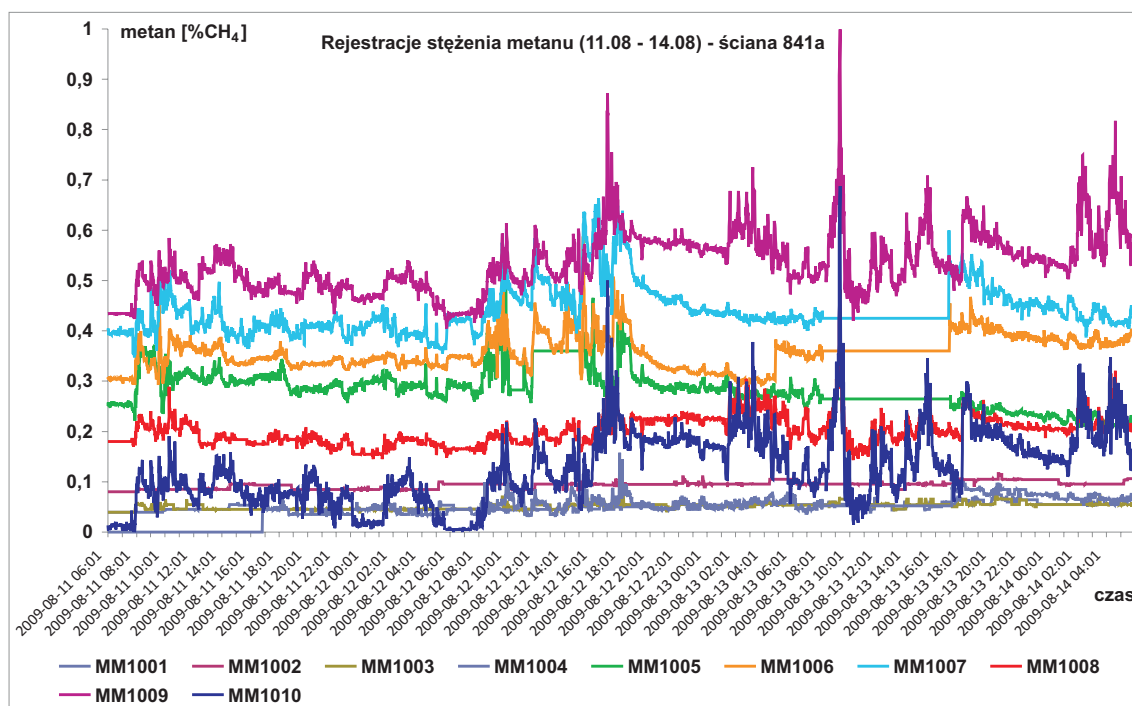
Zmiany stężenia metanu rejestrowane w ścianie oraz wyrobiskach przyległych przez czujniki systemu badawczego pokazano na rysunku 4. Przebiegi sygnałów stężenia metanu pokazują znaczne wahania związane wyraźnie ze zmianami roboczymi i pracą kombajnu. Interesujący jest również przebieg stężenia metanu rejestrowany na kolejnych metanomierzach w górę ściany tj. zgodnie z kierunkiem przepływu powietrza przez ścianę (M1005, M1006, M1007 i M1009), gdzie w miarę przesunięcia w górę ściany, widoczny jest wzrost poziomu stężenia przy zbliżonym charakterze przebiegu.

Szczegółowe obserwacje parametrów powietrza wykonane w dniu eksperymentu tj. 12.08.2009 roku w godzinach od 14:00 do 18:00 pokazano na kolejnych rysunkach 5-9. Dla pokazania związku zmian parametrów powietrza z pracą kombajnu i maszyn w ścianie 841a na tych rysunkach w tle naniesiono stan pracy maszyn (kombajn, przenośnik ścianowy, przenośnik zgrzeblowy oraz przenośnik taśmowy).

Rejestracje stężenia metanu w dniu 12.08.2009 przez czujniki (M1001, M1002, M1003) na wlocie do rejonu ściany, w prądzie świeżego powietrza, w dowierzchni IIw (rys. 5) umieszczone nad przenośnikiem taśmowym transportującym urobek ze ściany 841a, pokazują chwilowe zaburzenia wartości, ale na poziomie bardzo niskim, poniżej 0.1% CH₄. Stężenia metanu w ścianie, rejestrowane przez metanomierze zabudowane powyżej 50 m od początku ściany, są na poziomie powyżej 0,3÷0,4% CH₄ i wykazują wzrost w miarę przemieszczania się w górę ściany aż do poziomu 0,5÷0,6% CH₄. Z uwagi na odświeżanie, za pomocą wentylacji lutniowej, skrzyżowania wylotu ściany z dowierzchnią I'w, poziom stężenia metanu



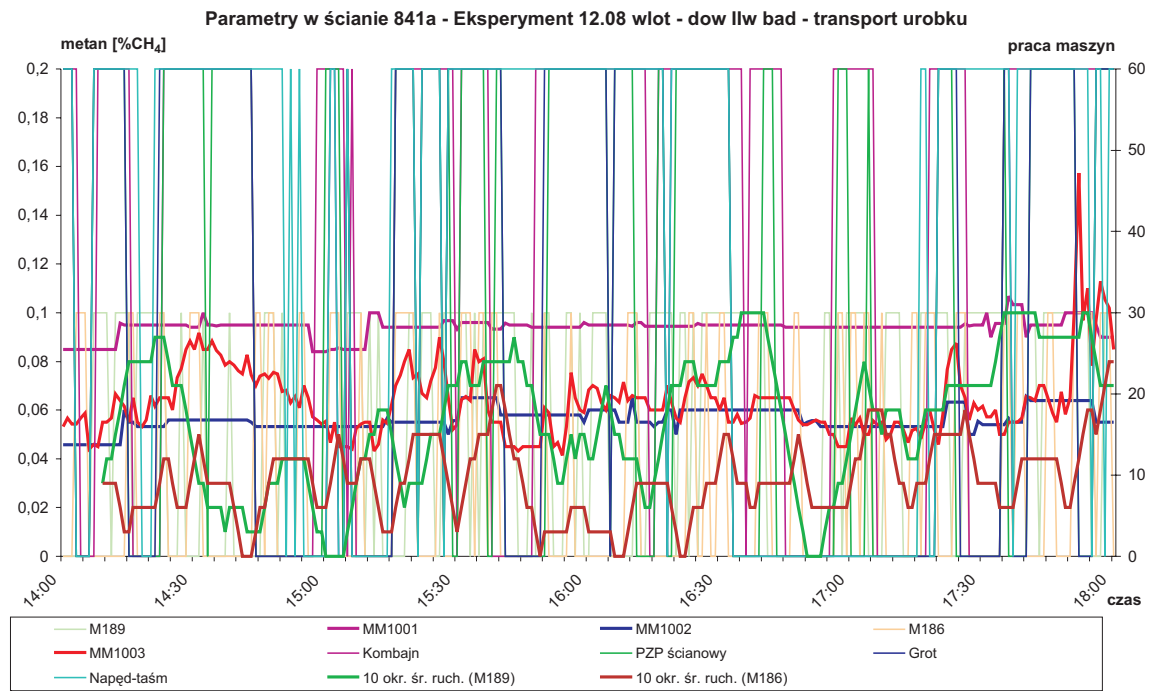
Rys. 3. Rejestracje prędkości powietrza w systemie badawczym w dniach 11.08-14.08.2009



Rys. 4. Rejestracje stężenia metanu w systemie badawczym w dniach 11.08-14.08.2009

w prądzie zużytego powietrza na poziomie 0,7% CH₄ oddaje zwiększony wydatek metanu odprowadzanego drogami wentylacyjnymi z rejonu badań.

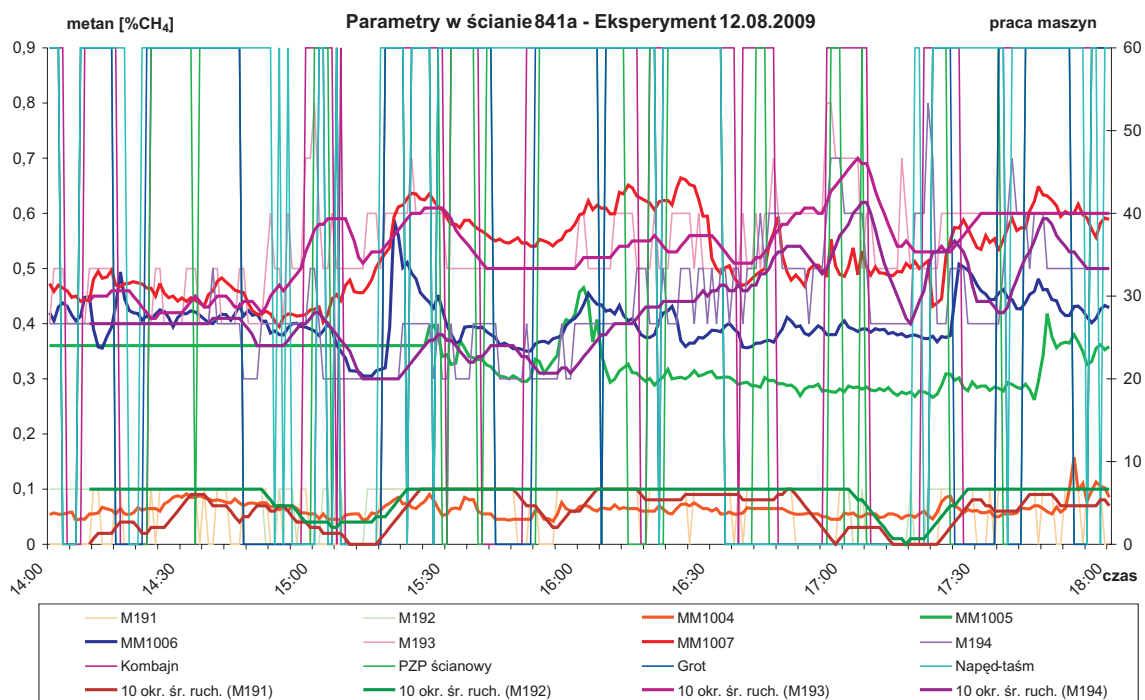
Na podstawie uzyskanego z kopalni „Raportu dyspozytora” oraz rejestracji pracy kombajnu w ścianie (BD001) odtworzono harmonogram pracy i położenia kombajnu w ścianie 841a (rys. 9) w czasie eksperymentu w dniu 12.08.2009. Równocześnie nałożenie harmonogramu pracy kombajnu w ścianie z przebiegiem stężenia



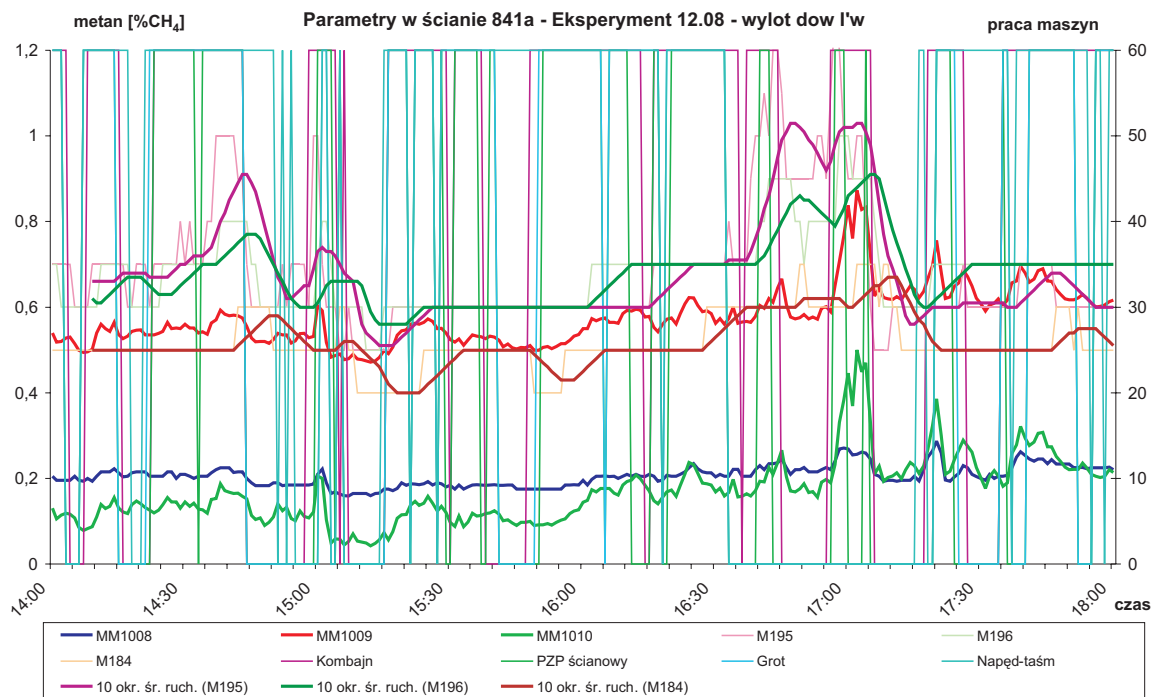
Rys. 5. Rejestracje stężenia metanu w dowierzchni IIw – wlot – transport urobku

metanu pokazuje wzrost stężenia metanu do maksymalnych wartości rejestrowanych przez metanomierze (M195, MM1010) w czasie kiedy kombajn „dojeżdżał” do końca ściany (około godz. 16:45).

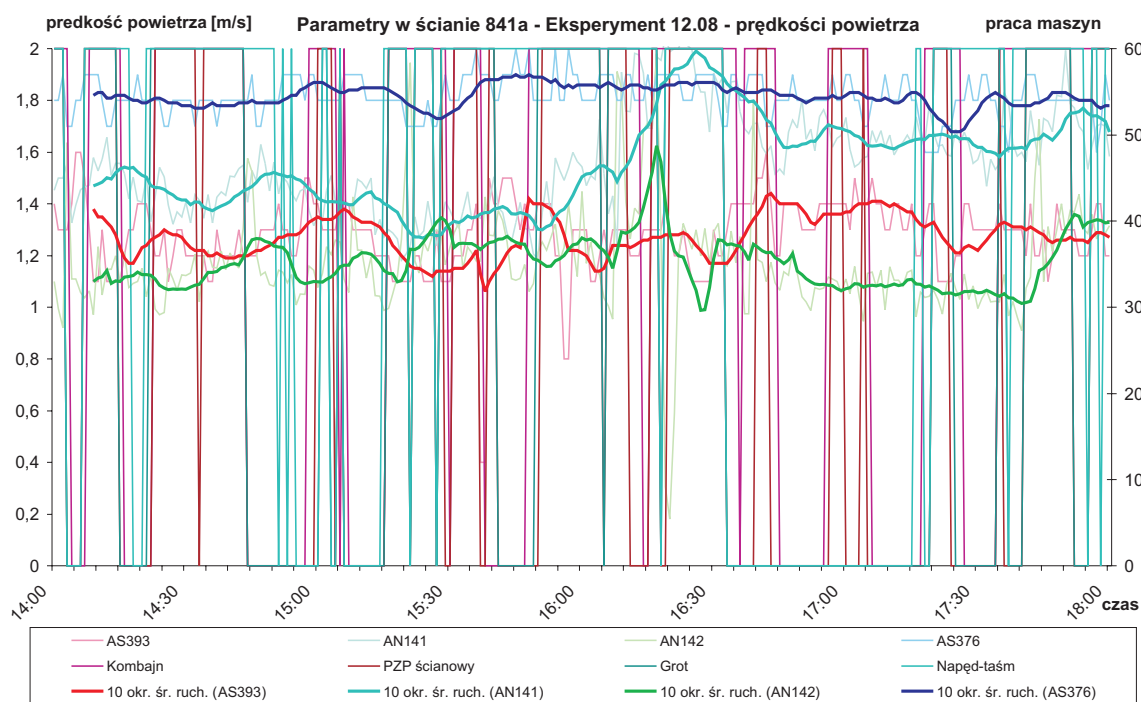
Na podstawie „Raportu dyspozytora” oraz rejestracji pracy kombajnu w ścianie (BD001) odtworzono harmonogram pracy i położenia kombajnu w ścianie 841a (rys. 9) w czasie eksperymentu w dniu 12.08.2009. Z tych danych wynika, że od godziny 11:00 kombajn stał na 40–45 metrze licząc od dowierzchni IIw i ruszył około 13:55. Ruch i przemieszczanie kombajnu w ścianie w interesującym czasie od 14:00 do 18:00 pokazany na rys. 9 pokazuje również chwilowe postoje. Na wykresie zaznaczono momenty czasu w których kombajn prawdopodobnie przejeżdżał obok czujników metanu.



Rys. 6. Rejestracje stężenia metanu w ścianie 841a



Rys. 7. Rejestracje stężenia metanu w dowerzchni I'w – wylot

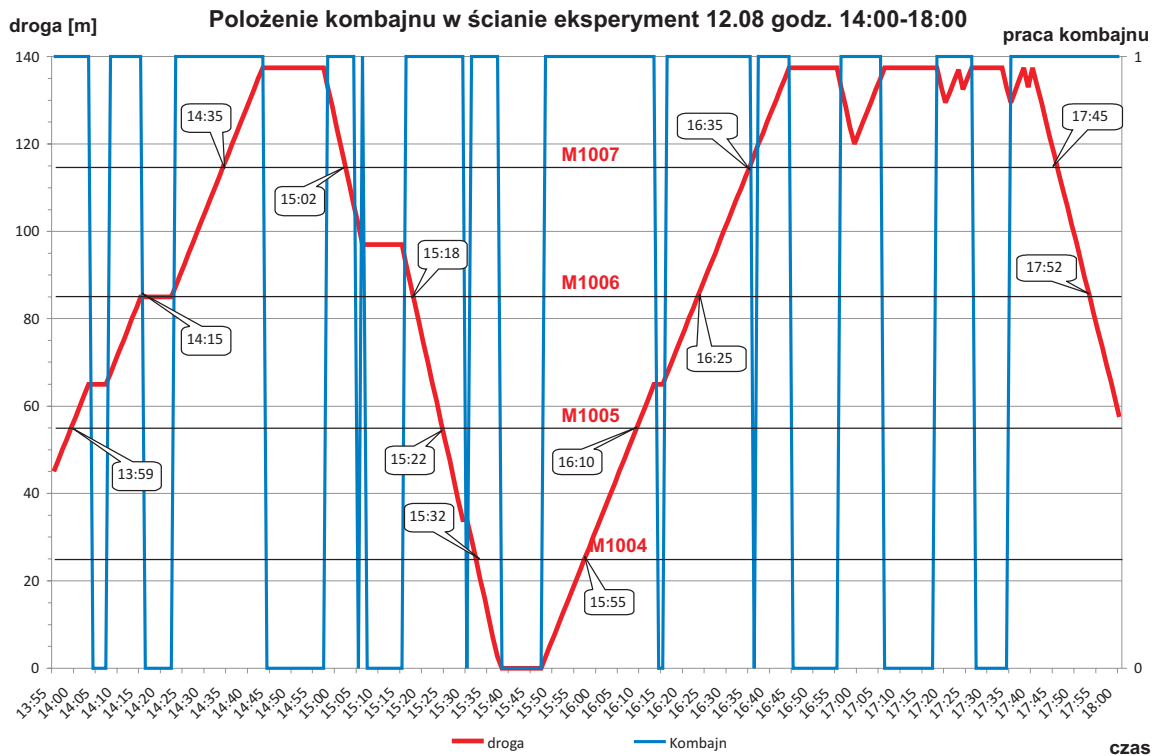


Rys. 8. Rejestracje prędkości powietrza w rejonie ściany 841a

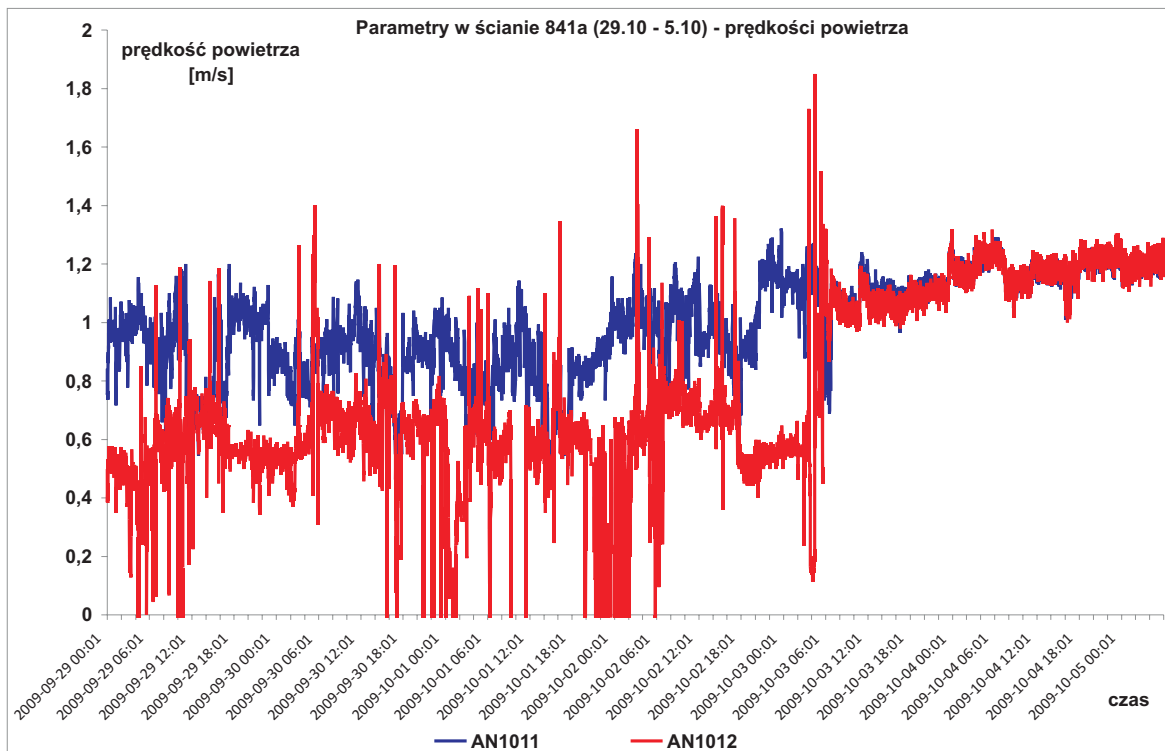
Obserwację parametrów powietrza w dniach 29.09-5.10.2009

Eksperyment pomiarowy przeprowadzony w dniu 1.10.2009, miał miejsce w okresie obserwacji od 29.09.2009-5.10.2009. Ten okres obserwacji był interesujący m.in. z uwagi na uruchomienie w tym czasie układu rejestracji mocy (obciążenia) kombajnu.

Zmiany prędkości powietrza rejestrowane w systemie badawczym w okresie od 29.09.2009-5.10.2009 są bardzo interesujące (rys. 10). Widać wyraźnie dużą zmienność prędkości powietrza w ścianie AN1012 w okresach roboczych pracy kombajnu i urabiania podczas gdy zmiany prędkości rejestrowane na wlocie



Rys. 9. Rejestracja pracy i położenie kombajnu w ścianie 841a



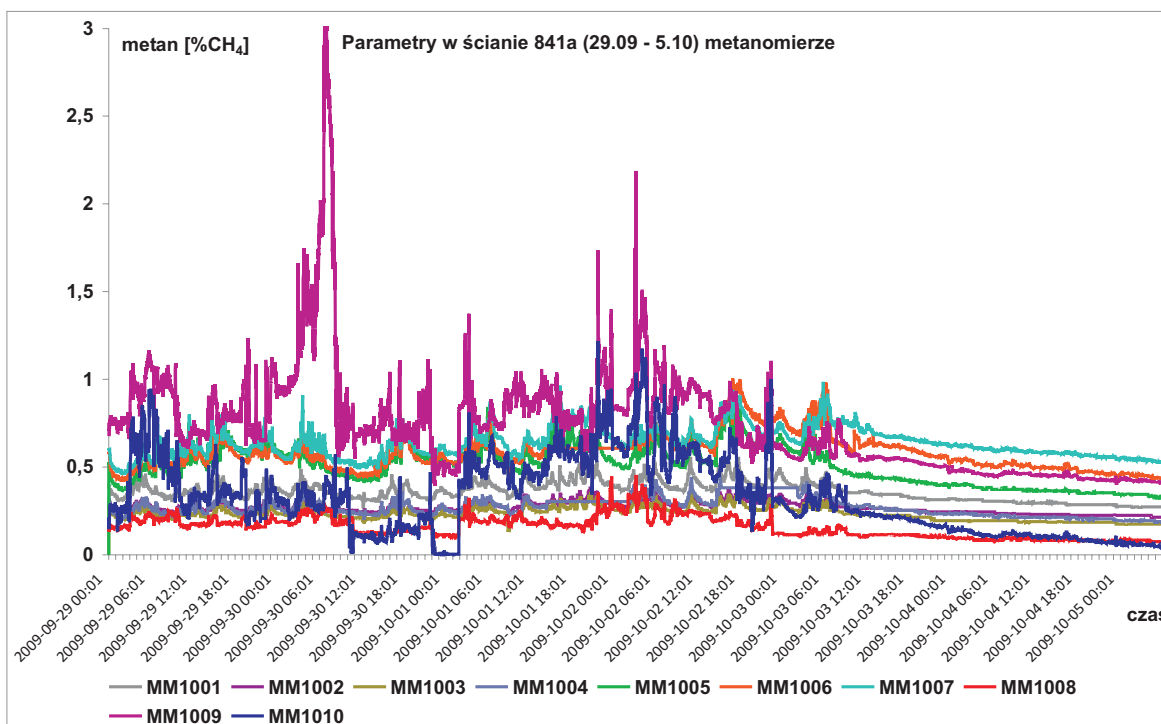
Rys. 10. Rejestracje prędkości powietrza w systemie badawczym w dniach 29.09-5.10.2009

do rejonu w dowierzchni IIw badawczej (AN1011) są znacznie mniejsze. Równocześnie można zauważyć, że w czasie przerwy w urabianiu (3.10-5.10, tj. sobota-niedziela) poziom i zmiany prędkości powietrza na obu anemometrach pokrywają się i są znacznie mniej zaburzone.

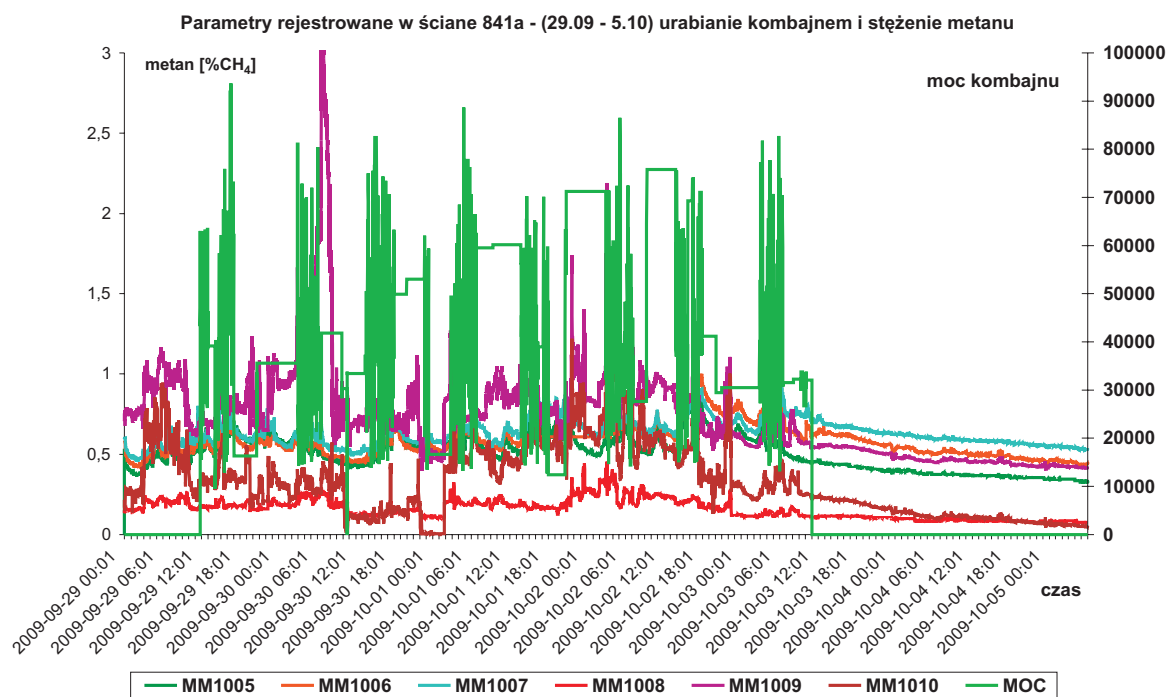
Zmiany stężenia metanu w ścianie i wyrobiskach przyległych (rys. 11) pokazują znaczne podobieństwo zmian stężenia metanu rejestrowanych przez wszystkie metanomierze w rejonie ściany. Oczywiście inten-

sywność zmienności stężenia metanu zwiększa się w kierunku przepływu powietrza i na metanomierzach w górnej części ściany widać wyraźnie większe zaburzenia stężenia metanu, a maksymalne stężenie metanu na wylocie ze ściany przekroczyło 3% CH₄.

Równocześnie widoczne jest wyraźnie zmniejszenie poziomu stężenia metanu, a także zmienności (wahań) na wszystkich metanomierzach w ścianie i wyrobiskach przyległych (M1001 – M1010) w dniach wolnych od pracy 3.10-5.10.2009 (sobota-niedziela) i przerwy w urabianiu.



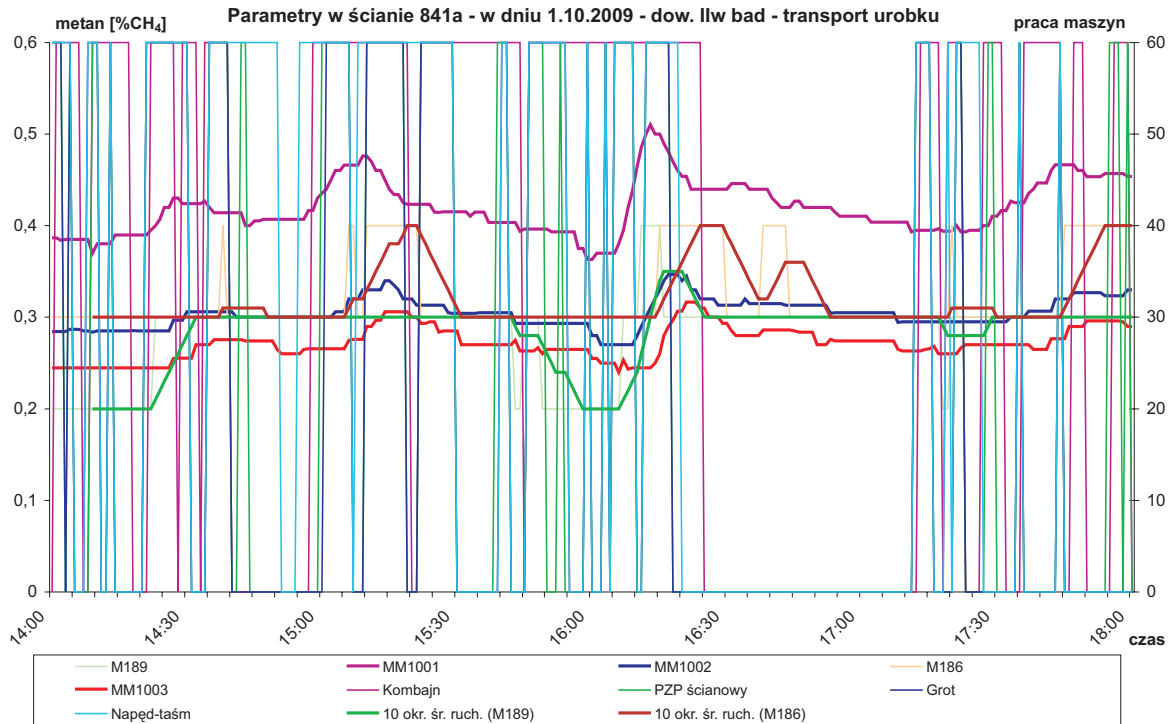
Rys. 11. Rejestracje stężenia metanu w systemie badawczym w dniach 29.09-5.10.2009



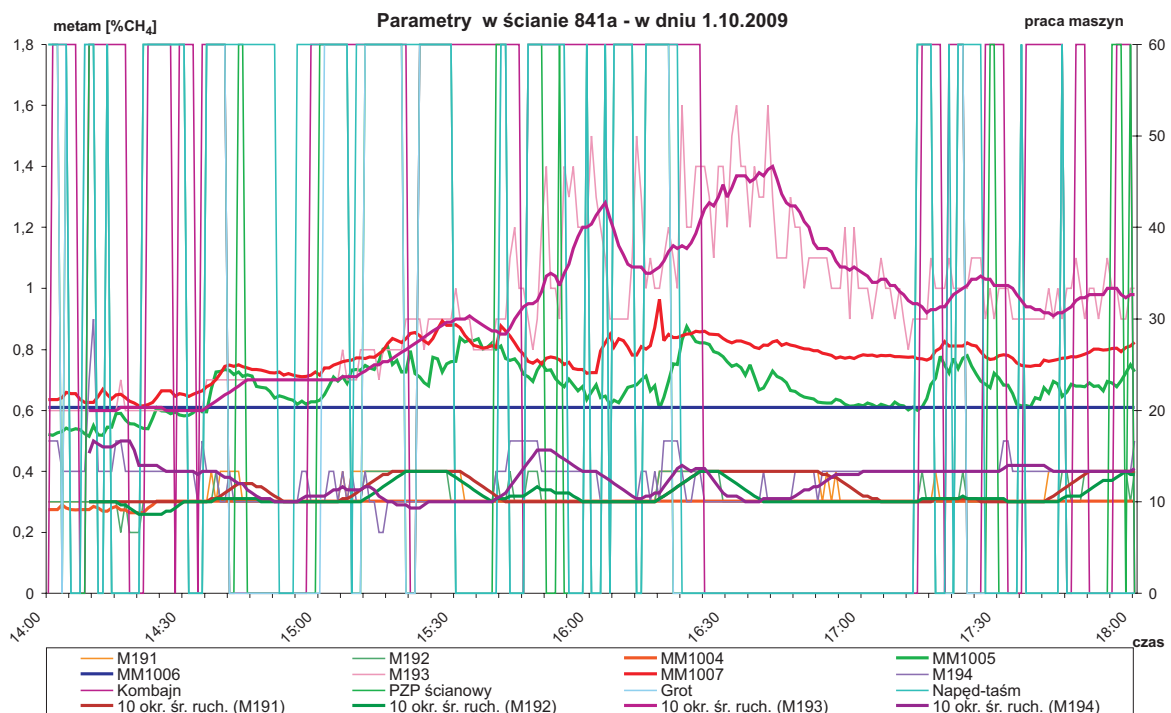
Rys. 12. Rejestracje stężenia metanu w ścianie i na wylocie z rejonu w dowierzchni I'w w systemie badawczym na tle mocy kombajnu w dniach 29.09-5.10.2009

Tę zależność widać bardzo wyraźnie na rysunku 12, na którym pokazano zmiany stężenia metanu w ścianie i na wylocie w dowerzchni I'w na tle mocy kombajnu, kiedy w czasie urabiania zmienność metanu jest duża, a w okresie przerwy w urabianiu 3.10-5.10.2009 stężenia metanu mają tendencję zanikającą.

Na tle obserwacji w dniach 29.09-5.10.2009 na kolejnych rysunkach 13÷18 pokazano zmiany parametrów powietrza rejestrowane w godzinach od 14:00 do 18:00 w dniu 1.10.2009 w ścianie 841a i wyrobiskach przyległych. Podobnie jak to miało miejsce dla eksperymentu w dniu 12.08.2009 roku dla pokazania związku



Rys. 13. Rejestracje stężenia metanu w dowerzchni IIw – wlot – transport urobku



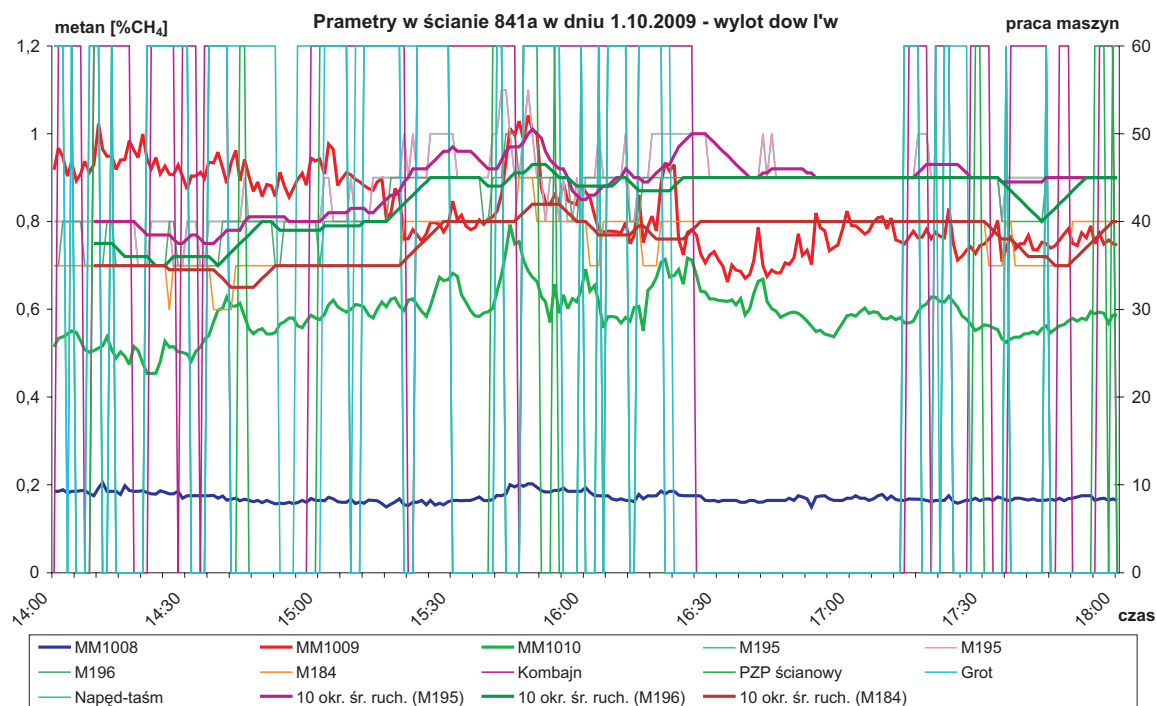
Rys. 14. Rejestracje stężenia metanu w ścianie 841a

zmian parametrów powietrza z pracą kombajnu i maszyn w ścianie 841a, w tle naniesiono stan pracy maszyn (kombajn, przenośnik ścianowy, przenośnik zgrzeblowy oraz przenośnik taśmowy).

Rejestracje stężenia metanu w prądzie świeżego powietrza, w dowierzchni IIw, pokazują, że stężenie metanu na wlocie do rejonu (MM1001) jest na wyjątkowo wysokim poziomie 0,4% CH₄, a chwilowo osiągała nawet 0,5% CH₄, co wg przepisów jest na poziomie dopuszczalnego stężenia metanu w prądzie świeżego powietrza. Uwzględniając fakt, że przenośnik taśmowy, w dowierzchni IIw, transportujący urobek ze ściany 841a, był w tym dniu zatrzymany od godziny 6:45 z wyjątkiem kilku minutowych załączeń. Tak wysoki poziom stężenia metanu w prądzie świeżego powietrza można tłumaczyć wydzielaniem metanu z urobku na zatrzymanym taśmociągu. Potwierdzeniem tego jest charakter przemieszczającego się zaburzenia (wzrostu) stężenia metanu wzdłuż dowierzchni IIw zgodnie z kierunkiem przepływu powietrza (rys. 13).

Rejestracje stężenia metanu w ścianie (rys. 14) pokazują wzrost stężenia metanu do poziomu 1% CH₄, a chwilowo nawet do 1,4÷1,5% CH₄ na końcu ściany (M193) w stosunku do poziomu 0,4% CH₄ na wlocie do ściany. Taki wzrost stężenia metanu to niewątpliwie efekt pracy kombajnu.

Stężenie metanu rejestrowane, w prądzie zużytego powietrza, w dowierzchni I'w (rys. 15) pokazują poziom średnio około 0,8÷1,0% CH₄ pomimo dodatkowej ilości powietrza dostarczanej za pomocą lutniociągu do naroża ściany i dowierzchni I w.

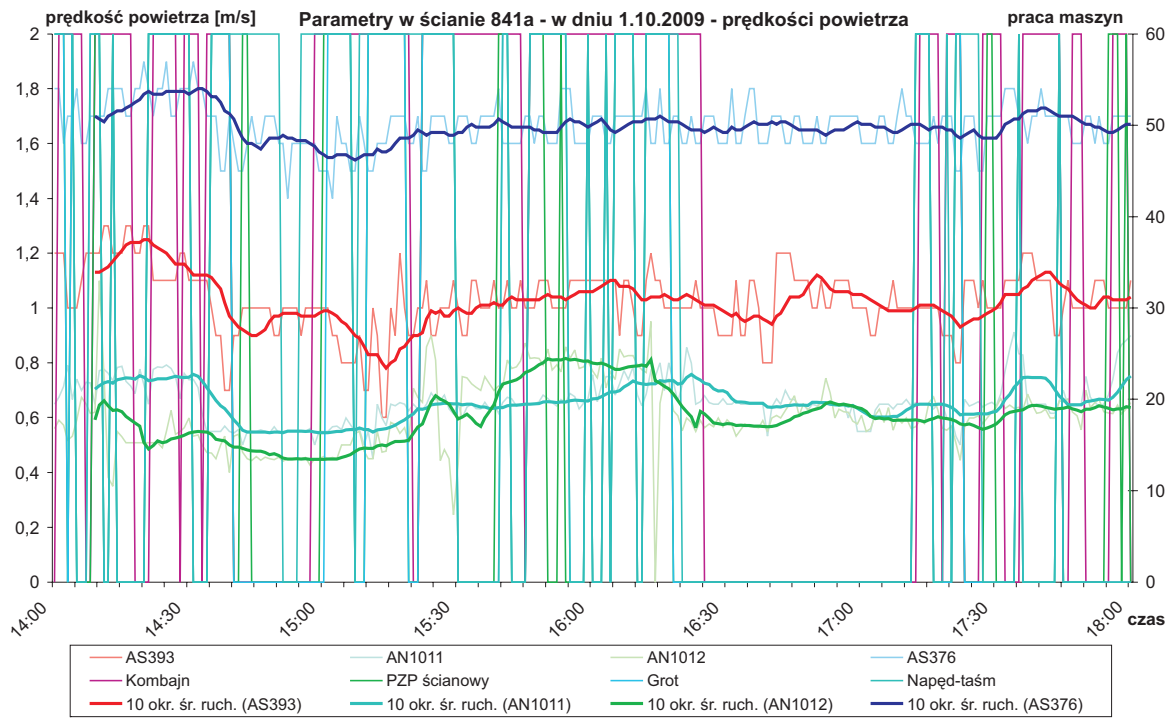


Rys. 15. Rejestracje stężenia metanu w dowierzchni I'w – wylot

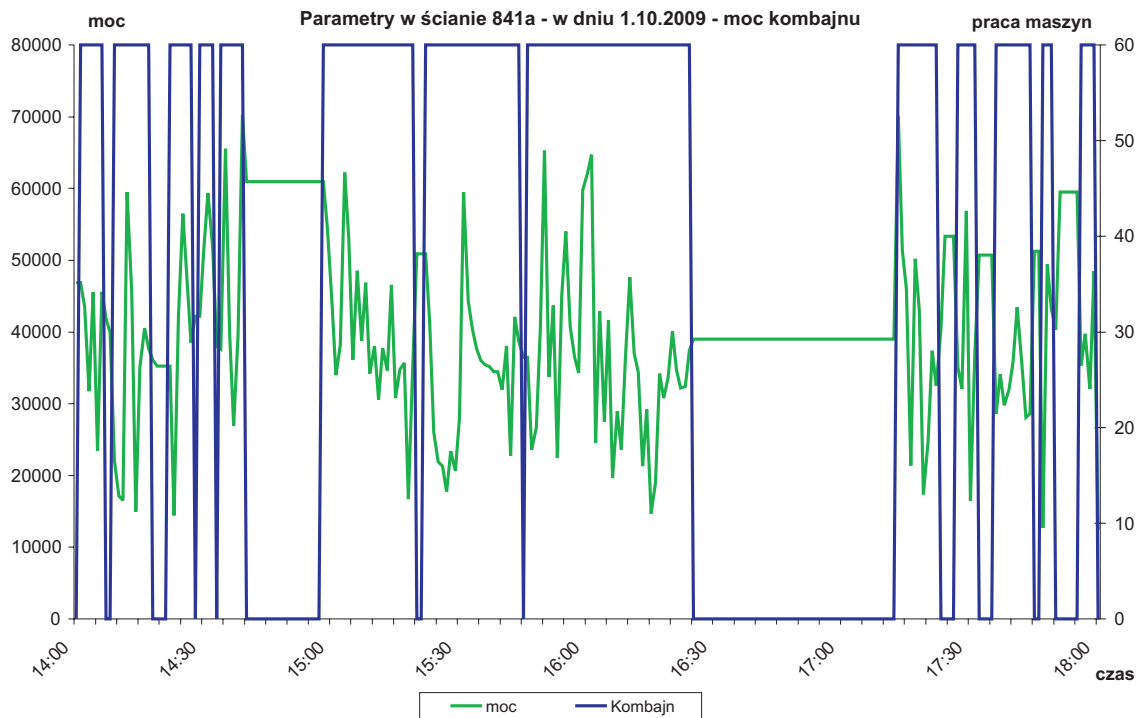
Prędkości powietrza rejestrowane w rejonie ściany 841a (rys. 16) są w miarę stabilne chociaż wyjaśnienia wymaga zmniejszenie w tym okresie poziomu prędkości powietrza rejestrowanego w systemie badawczym (AN1011 przed ścianą oraz AN1012 w ścianie) o blisko 50% w stosunku do wcześniejszych obserwacji w dniu 12.08.2009 (rys. 8).

Rejestracje obciążenia kombajnu (mocy) oraz pracy kombajnu w dniu 1.10.2009 pokazują (rys. 17) bardzo dobrą synchronizację w czasie zwiększonej zmienności mocy kombajnu w okresach jego pracy w stosunku do stałej wartości w okresach postoju kombajnu. Równocześnie należy zauważyć brak wyraźnej różnicy obciążenia kombajnu (mocy) w okresach urabiania („cięcia”) oraz zjazdu kombajnu („czyszczenie”).

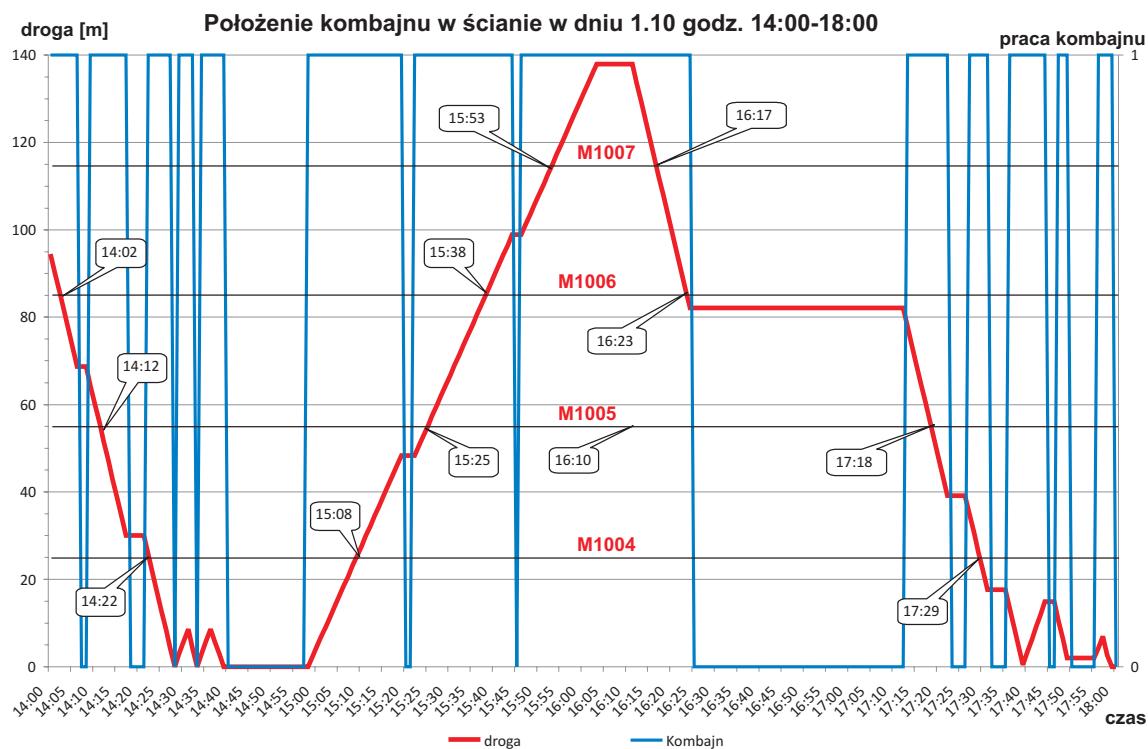
Na podstawie „Raportu dyspozytora” oraz rejestracji pracy kombajnu w ścianie (BD001) odtworzono harmonogram pracy i położenia kombajnu w ścianie 841a (rys. 18) w czasie eksperymentu w dniu 1.10.2009. Z odczytanych z raportu danych wynika, że w tym dniu od godziny 7:00 kombajn stał na górze ściany (przy dowierzchni I'w) i ruszył w dół około 13:50. Ruch i przemieszczanie się kombajnu w ścianie w czasie obserwacji od 14:00 do 18:00 (rys. 18) pokazuje blisko godzinny postój kombajnu na około 80 metrze. Na wykresie (rys. 18) zaznaczono również czas, kiedy kombajn przejeżdżał obok czujników metanu.



Rys. 16. Rejestracje predkości powietrza w rejonie ściany 841a



Rys. 17. Rejestracja pracy kombajnu i obciążenia kombajnu (mocy)



Rys. 18. Rejestracja pracy i położenie kombajnu w ścianie 841a

2.5. Bilans metanowy w rejonie ściany 841a

Na podstawie przyjętego rozplywu powietrza w rejonie ściany 841a oraz rejestrowanych w dniu 12.08.2009 (14:00-18:00) stężeń metanu w ścianie i wyrobiskach przyległych (na wlocie, wylocie) oszacowano wydatki metanu w tych punktach rejonu ściany gdzie były zabudowane metanometry systemu metanometrii automatycznej i systemu badawczego (Tablica 6).

Tab. 6. Wydatki metanu oszacowane w rejonie ściany 841a

Metanomierz	Położenie	Średnie stężenie metanu %CH ₄	Wydatek powietrza m ³ /min	Wydatek metanu m ³ /min
MM 189	włot – dowierzchnia IIw	0,055	821	0,45
MM1001	włot – dowierzchnia IIw	0,094	821	0,77
MM1002	dowierzchnia IIw	0,056	821	0,46
M186	dowierzchnia IIw	0,032	821	0,26
MM1003	przed ścianą – dowierz. IIw	0,063	821	0,52
M192	włot do ściany	0,088	700	0,62
MM1004	Ściana	0,063	798	0,50
MM1005	ściana	0,33	752	2,48
MM1006	ściana	0,403	687	2,77
M193	ściana wylot	0,537	736	3,95
MM1007	ściana wylot	0,526	711	3,74
M194	likwidacja za ścianą	0,428	960	4,11
MM1008	dowierzchnia I'w – ściana	0,206	960	1,98
MM1009	dowierzchnia I'w – ściana	0,576	960	5,53
MM1010	dowierzchnia I'w – ściana	0,169	960	1,62
M195	dowierzchnia	0,683	965	6,59
M196	dowierzchnia	0,679	990	6,72
M184	dowierzchnia	0,519	1140	5,92

Z powyższego oszacowania można wnioskować, że dopływ metanu z urobku na przenośniku (w dowierzchni IIw) wynosił średnio około 0,77 m³/min, w ścianie dopływ metanu z odsłoniętej calizny oraz

urobku na przenośniku ścianowym wynosił średnio 4 m³/min czystego metanu. Z oszacowanych danych wynika, że w górnym narożu ściany na skrzyżowaniu ściany i powierzchni I^w następował dopływ metanu rzędu 2,5 m³/min czystego metanu. Znaczne wahania oszacowanego wydatku metanu w różnych punktach ściany i wyrobiskach przyległych może być wynikiem niedostatecznego wymieszania powietrza z dopływającym metanem.

3. Walidacja procedur modelu matematycznego programu *VentZroby*

Do strumienia powietrza przepływającego przez ścianę urabianą kombajnem dopływa metan z calizny węglowej ściany i z urobku na przenośniku ścianowym oraz ze zrobów. Emisja metanu z urobku na przenośniku ma również miejsce w chodniku odstawczym. W modelu matematycznym zastosowanym w programie *VentZroby* założono, że emisja metanu jest równomiernie rozłożona na całej powierzchni obszaru zrobów (Dziurzyński i Nawrat, 1995). Zagadnieniem wpływu urabiania na wydzielanie się metanu z węgla zajmowali się Tarasow i Kołmakow (1978), a model matematyczny emisji metanu z urobku na taśmociągu, podał Drzeźła i Badura (1980). Tarasow i Kołmakow przyjmują, że urabiający ścianę kombajn wytwarza przed sobą strefę spękań o długości od 10 do 20 m, powodując w rezultacie zwiększony wpływ metanu już przed kombajnem. Wpływ ten zwiększa się w miarę zbliżania kombajnu do danego punktu. Natomiast emisja metanu z nowo odkrytej powierzchni urabianej ściany maleje z upływem czasu. Przyjęty model emisji metanu, pokazany w artykule Blecharz, Dziurzyńskiego, Kracha i Pałki (2003) charakteryzuje się następującymi parametrami: początkowy q_0 i maksymalny q_{\max} dopływ strumienia objętości metanu z jednostki powierzchni z calizny ściany, czas urabiania strefy spękań T_s i czas ustalania się emisji metanu po odsłonięciu nowej powierzchni calizny T_u . Ponieważ model ten miał szereg ograniczeń (urabianie tylko w jednym kierunku ze stałą prędkością, bez postojów), podjęto prace nad nowym, rozszerzonym modelem ściany urabianej kombajnem, uwzględniający urabianie ściany ze zmienną prędkością w dwóch kierunkach i z postojami (Dziurzyński i in., 2008). Na podstawie przytoczonych modeli emisji metanu wyprowadzono związki, opisujące dopływ metanu dla danego czasu i danej odległości od początku ściany w wyniku dopływu metanu z calizny oraz z urobku na przenośniku ścianowym, a także na przenośniku w chodniku transportowym. Zastosowany w programie komputerowym model emisji metanu wyprowadzono przy następujących założeniach:

- Kombajn pracuje cyklicznie, przy czym cykl T_c kombajnu składa się z okresu urabiania T_u oraz z okresu T_p postoju i powrotu kombajnu do położenia na początku ściany, $T_c = T_u + T_p$.
- Kombajn urabia ścianę o długości L_s ze stałą prędkością ruchu v_k .
- Urabiany węgiel transportowany jest przenośnikiem ścianowym z prędkością v_s w kierunku początku ściany, czyli w kierunku przeciwnym do ruchu roboczego kombajnu.
- Dalej urobek unoszony jest przenośnikiem w chodniku transportowym z prędkością v_t .
- Transport urobku odbywa się w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu powietrza w wyrobiskach.

Powyższy model zastosowano w programie symulacyjnym *VentMet* (Dziurzyński i in., 2005, 2007a) (Dziurzyński i in., 2007b), którą obecnie zmieniono na *VentZroby*. Uzasadnieniem zmiany nazwy programu była znaczna rozbudowa algorytmów przygotowania danych dla opisu przepływu mieszaniny powietrza i metanu w zrobach. Obecnie kontynuowane badania dla walidacji w oparciu o nowe obserwacje i dane uzyskane z eksperymentu pomiarowego w ścianie 841A kopalni Bielszowice pokazały konieczność dalszego uściślenia opisu wydzielania metanu z calizny, a dotyczącego okresu przed rozpoczęciem urabiania kombajnem po dłuższym kilku godzinnym jego postoju.

3.1. Dopływ metanu do strumienia powietrza przepływającego przez ścianę

W ramach prac wykonanych w 2008 r. przedstawiono wyniki walidacji programu *VentZroby* z wykorzystaniem wyników eksperymentu „in situ” i z zastosowaniem nowych algorytmów przygotowania danych wejściowych. (Dziurzyński i in., 2008). Zastosowany w tym programie model numeryczny dopływu metanu do strumienia powietrza przepływającego przez ścianę, dostosowany do wcześniej opracowanego i stosowanego modelu zrobów, bazował na bilansach strumieni mas powietrza i metanu w węzłach, utworzonych przez podział ściany na odcinki, równe odcinkom bocznic modelujących zrob, równoległych do ściany. Przedstawiony poniżej model numeryczny dopływu metanu, zastosowany w aktualnej wersji programu

VentZroby, bazuje na równaniu różniczkowym opisującym przebieg zmian udziału masowego metanu w objętości odcinka ściany o długości Δx .

Bilans masy mieszaniny metanu i powietrza dla elementu objętości $\Delta V = A \Delta x$, gdzie A – pole przekroju poprzecznego ściany, Δx – długość odcinka ściany, przedstawia się następująco:

$$\frac{dm}{dt} = Q_{Mi} - Q_{Mo} + Q_{Md} \quad (1)$$

gdzie

- m – masa gazu w objętości ΔV ,
- Q_{Mi} – strumień masy dopływający do objętości ΔV przez powierzchnię czołową A ,
- Q_{Mo} – strumień masy wypływający z objętości ΔV przez powierzchnię czołową A ,
- Q_{Md} – strumień masy dopływający do objętości ΔV przez powierzchnię boczną.

Bilans masy metanu dla elementu objętości ΔV przedstawia się następująco:

$$\frac{dm_{CH_4}}{dt} = C_{Mi} Q_{Mi} - C_{Mo} Q_{Mo} + C_{Md} Q_{Md} \quad (2)$$

gdzie

- m_{CH_4} – masa metanu w objętości ΔV ,
- C_{Mi} – udział masowy metanu w strumieniu Q_{Mi}
- C_{Mo} – udział masowy metanu w strumieniu Q_{Mo}
- C_{Md} – udział masowy metanu w strumieniu Q_{Md} .

Masa metanu w objętości ΔV jest równa:

$$m_{CH_4} = C_{Mo} m \quad (3)$$

Masa gazu w objętości ΔV jest równa:

$$m = \rho \Delta V \quad (5)$$

gdzie

- ρ – gęstość gazu w objętości ΔV .

Z powyższych zależności otrzymuje się równanie udziału masowego metanu w objętości ΔV :

$$\rho A \Delta x \frac{dC_{Mo}}{dt} = (C_{Mi} - C_{Mo}) Q_{Mi} + (C_{Md} - C_{Mo}) Q_{Md} \quad (6)$$

Przechodząc na różnice skończone otrzymuje się następującą postać równania (6):

$$\Delta C_{Mo} = \left[(C_{Mi} - C_{Mo}) \frac{Q_{Mi}}{\Delta x} + (C_{Md} - C_{Mo}) q_{Md} \right] \frac{\Delta t}{\rho A} \quad (7)$$

gdzie

- q_{Md} – strumień masy metanu na jednostkę długości dopływający do objętości ΔV przez powierzchnię boczną (wartość średnia na długości Δx).

Dla obliczeń numerycznych odcinki ściany wynikające z modelu zrobów podzielono na I mniejszych odcinków o długości Δx i uwzględniając, że do powietrza płynącego przez ścianę dopływa strumień masy metanu o udziale masowym $C_{Md} = 1$, dla tych odcinków zapisano równanie (7) w następującej postaci:

$$C_{M(i,k+1)} = C_{M(i,k)} + \left[(C_{M(i-1,k)} - C_{M(i,k)}) \frac{Q_{M(i-1,k)}}{\Delta x} + (1 - C_{M(i,k)}) q_{Md(i,k)} \right] \frac{\Delta t}{\rho_{(i,k)} A} \quad (8)$$

gdzie

- $C_{M(i,k+1)}$ – udział masowy metanu w węźle i w kroku czasowym $k+1$,
- $C_{M(i,k)}$ – udział masowy metanu w węźle i w kroku czasowym k ,

- $C_{M(i-1,k)}$ – strumień masy gazu dopływający do węzła $i-1$ w kroku czasowym k ,
 $C_{Mm(i,k)}$ – średnia wartość udziału masowego metanu w odcinku i w kroku czasowym k ,
 $q_{Md(i,k)}$ – średnia wartość strumienia masy metanu na jednostkę długości dopływającego do odcinka i (między węzłami $i-1$ oraz i) w kroku czasowym k ,
 $\rho_{(i,k)}$ – średnia wartość gęstości gazu w odcinku i (między węzłami $i-1$ oraz i) w kroku czasowym k .

Średnia wartość gęstości gazu w odcinku i w kroku czasowym k jest równa:

$$\rho_{(i,k)} = \frac{P_{(i,k)}}{T \mathfrak{R}_p (1 + a C_{Mm(i,k)})} \quad (9)$$

gdzie

- $P_{(i,k)}$ – średnia wartość ciśnienia barometrycznego w odcinku i (między węzłami $i-1$ oraz i) w kroku czasowym k ,
 T – średnia temperatura powietrza w ścianie,
 \mathfrak{R}_p – stała gazowa powietrza, $\mathfrak{R}_p = 287,11 \text{ J/(kg K)}$
 a – stała, $a = 0.8$,

Średnią wartość ciśnienia barometrycznego w odcinku i można obliczyć następująco:

$$P_{(i,k)} = P_{(j1,k)} + (P_{(j2,k)} - P_{(j1,k)}) \frac{2i-1}{2I} \quad (10)$$

gdzie

- $P_{(j1,k)}, P_{(j2,k)}$ – ciśnienia barometryczne w węzłach głównych $j1$ i $j2$,
 I – ilość odcinków między węzłami głównymi $j1$ i $j2$ z modelu numerycznego zrobów.

Średnia wartość udziału masowego metanu w odcinku i jest równa:

$$C_{Mm(i,k)} = \frac{1}{2} (C_{M(i,k)} + C_{M(i-1,k)}) \quad (11)$$

Na strumień masy metanu dopływający do powietrza przepływającego przez ścianę składa się strumień masy metanu wypływającego z calizny węglowej i strumień masy metanu wydzielającego się z urobionego węgla:

$$q_{Md(i,k)} = \frac{P_{(i,k)} T_0}{p_0 T} \rho_{\text{CH}_4} \left[\frac{H_k}{2} (q_{s(i,k)} + q_{s(i-1,k)}) + \frac{1}{2} (q_{ps(i,k)} + q_{ps(i-1,k)}) \right] \quad (12)$$

gdzie

- $q_{s(i,k)}, q_{s(i-1,k)}$ – strumień objętości metanu z jednostki powierzchni calizny węglowej (prędkość wypływu),
 $q_{ps(i,k)}, q_{ps(i-1,k)}$ – strumień objętości metanu z jednostki długości urobku na przenośniku ścianowym,
 ρ_{CH_4} – gęstość metanu normalna,
 H_k – wysokość zabioru kombajnu.

Obliczenia w pętli czasowej w programie **VentZroby** poprzedzone są obliczeniami stanu początkowego rozplywu powietrza i metanu w sieci bocznic i w zrobach. Przyjęto, że w stanie początkowym występuje dopływ metanu z calizny węglowej ściany ze stałą prędkością wypływu i nie ma urobku na przenośniku ścianowym:

$$q_{Md(i,0)} = \frac{P_{(i,0)} T_0}{p_0 T} \rho_{\text{CH}_4} H q_{s0} \quad (13)$$

Z równania (8) otrzymuje się następującą zależność dla stanu ustalonego:

$$C_{M(i,k)} = \frac{C_{M(i-1)} Q_{M(i-1)} + q_{Md(i)} \Delta x}{Q_{M(i-1)} + q_{Md(i)} \Delta x} \quad (14)$$

Ponieważ $Q_{M(i-1,0)} \gg q_{Md(i,0)}\Delta x$ to powyższa zależność upraszcza się do następującej postaci

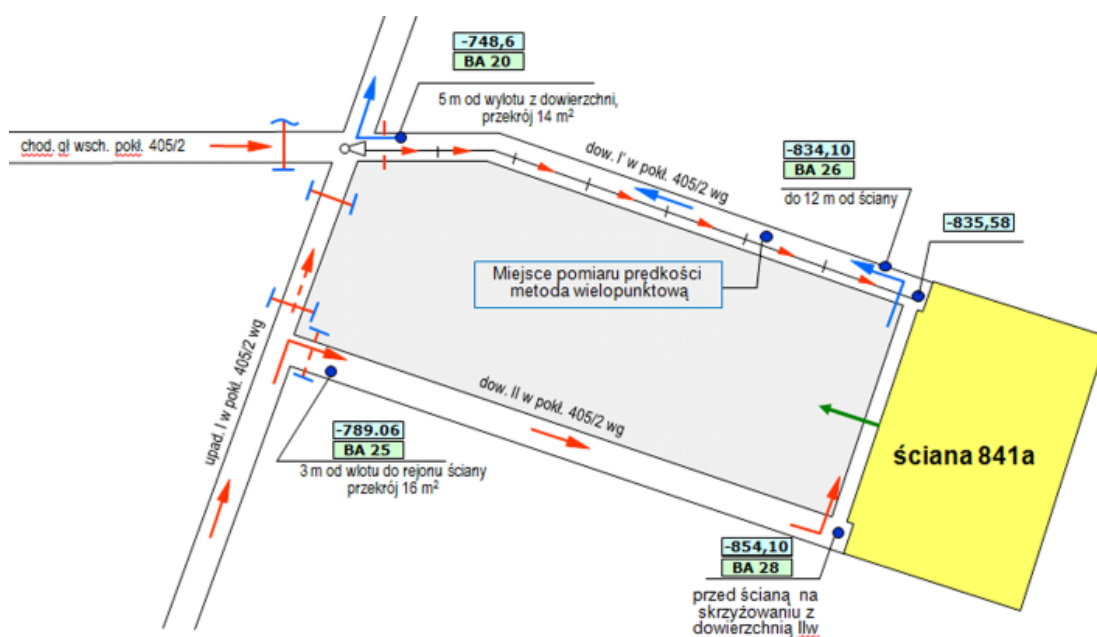
$$C_{M(i,0)} = C_{M(i-1,0)} + \frac{q_{Md(i,0)}}{Q_{M(i-1,0)}} \Delta x \quad (15)$$

Wyżej podane związki dla obliczeń numerycznych rozkładu stężenia metanu w ścianie w ustalonym stanie początkowym (15) oraz w stanie nieustalonym (8), w połączeniu z zależnościami określającymi dopływ metanu z calizny ściany urabianej kombajnem i z urobku na przenośniku ścianowym (Dziurzyński i in., 2008), umożliwiają większą dokładność symulacji rozkładów stężenia metanu w ścianie i tym samym lepsze odtwarzanie przebiegów stężenia dla przypadków zarejestrowanych przez system monitoringu kopalni.

3.2. Model numeryczny rejonu ściany 841A, stan początkowy

Dla symulacji przepływu powietrza i metanu w rejonie ściany 841A oraz zlikwidowanej ściany 841B, a także ich zrobów w warunkach urabiania ściany kombajnem opracowano bazę danych zawierającą parametry zastosowanego modelu matematycznego. Potrzebne dane uzyskano na podstawie:

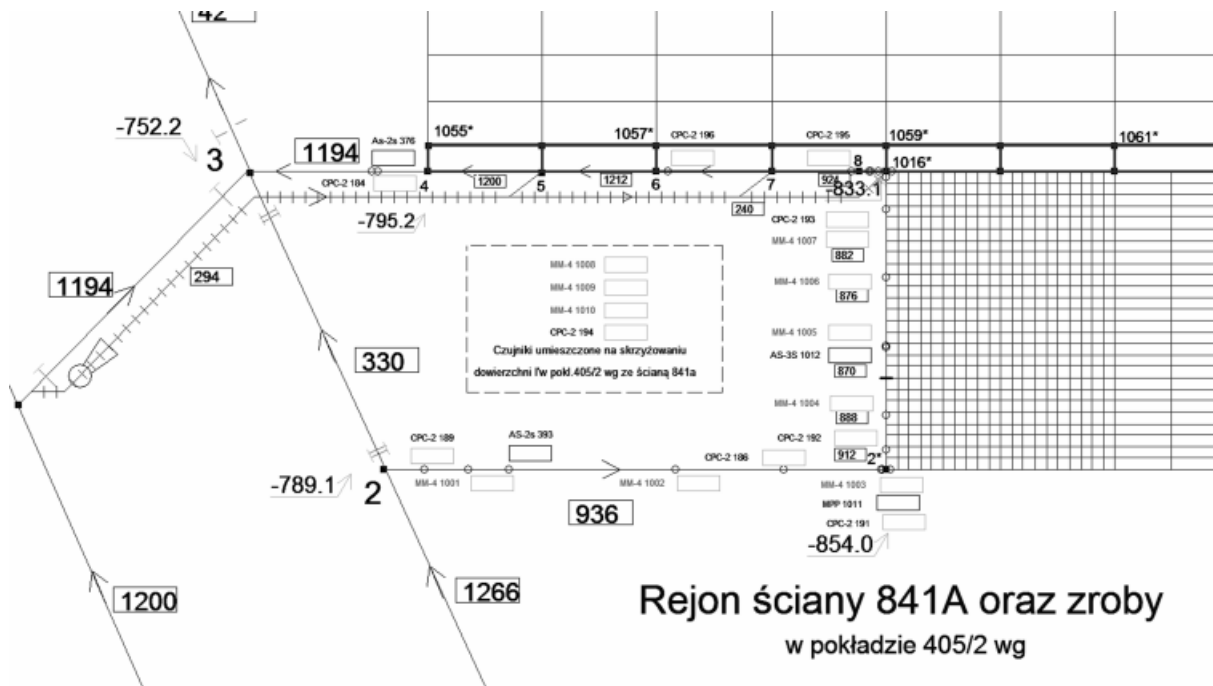
1. Wyników doraźnych pomiarów wentylacyjnych wykonanych w ramach eksperymentów w rejonie ściany 841A (rys. 19 na wlocie, w ścianie i wylocie z rejonu) które objęły:
 - pomiar wydatku powietrza na wylocie ze ściany w dowierzchni I'w za przegrodą za pomocą wielopunktowego pomiaru prędkości powietrza. W ten sposób zweryfikowano wydatek powietrza płynący ze ściany oraz dodatkowo doświeżony za pomocą nieszczelnego lutniociągu tłoczącego świeże powietrze do przestrzeni likwidowanego odcinka za ścianą.
 - pomiar wydatku przepływu powietrza po stronie dopływu świeżego powietrza w dowierzchni IIw za pomocą wielopunktowego pomiaru prędkości powietrza. W ten sposób został zweryfikowany wydatek powietrza płynący do ściany od strony dowierzchni IIw, normalnie wyznaczany na podstawie punktowego pomiaru anemometrem stacjonarnym włączonym do systemu gazometrii automatycznej.
 - w czasie każdej z serii pomiarowych wykonywano ręczne pomiary temperatury powietrza i wilgotności, w celu wyznaczenia gęstości przepływającego powietrza, wyznaczano koty niwelacyjne i powierzchnie przekroju wyrobisk, w których umieszczono barometry przenośne typu μ BAR.



Rys. 19. Sposób rozmieszczenia punktów pomiarowych wraz z aparaturą pomiarową i kontrolnej w ścianie w czasie doraźnych eksperymentów w dniu 12.08.2009

2. Komputerowego opisu parametrycznego sieci wentylacyjnej w standardzie danych systemu programów komputerowych **Ventgraph** dla stanu jej struktury i regulacji przewietrzania rejonu w okresie prowadzonego eksperymentu,
3. Danych projektowych o rejonie eksploatacji, profile chodników,
4. Map pokładowych, profile geologiczne,
5. Wyników pomiarów przez czujniki prędkości i stężenia metanu systemu monitoringu z okresu poprzedzającego eksperyment w ścianie 841A.

Na podstawie powyższych danych i pomiarów doraźnych ustalono model sieci wyrobisk oraz zrobów (rys. 20), który wiernie oddawał rzeczywistą strukturę wyrobisk i zrobów oraz system przewietrzania.

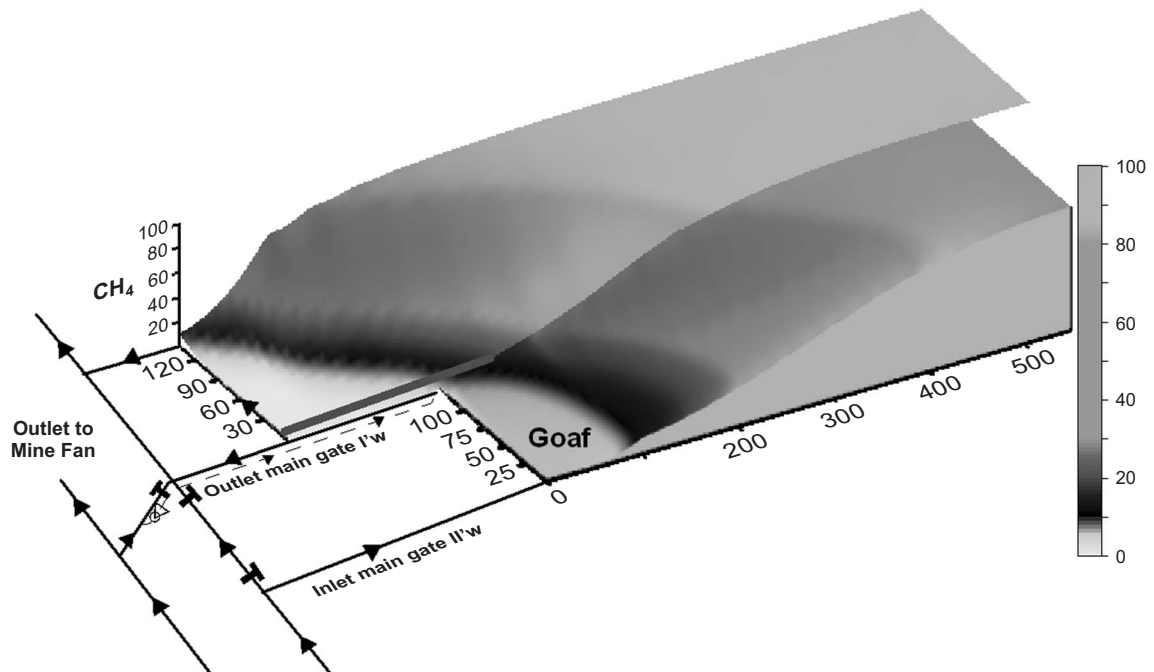


Rys. 20. Schemat przestrzenny rejonu ściany 841A pokład 405/2wg, model numeryczny

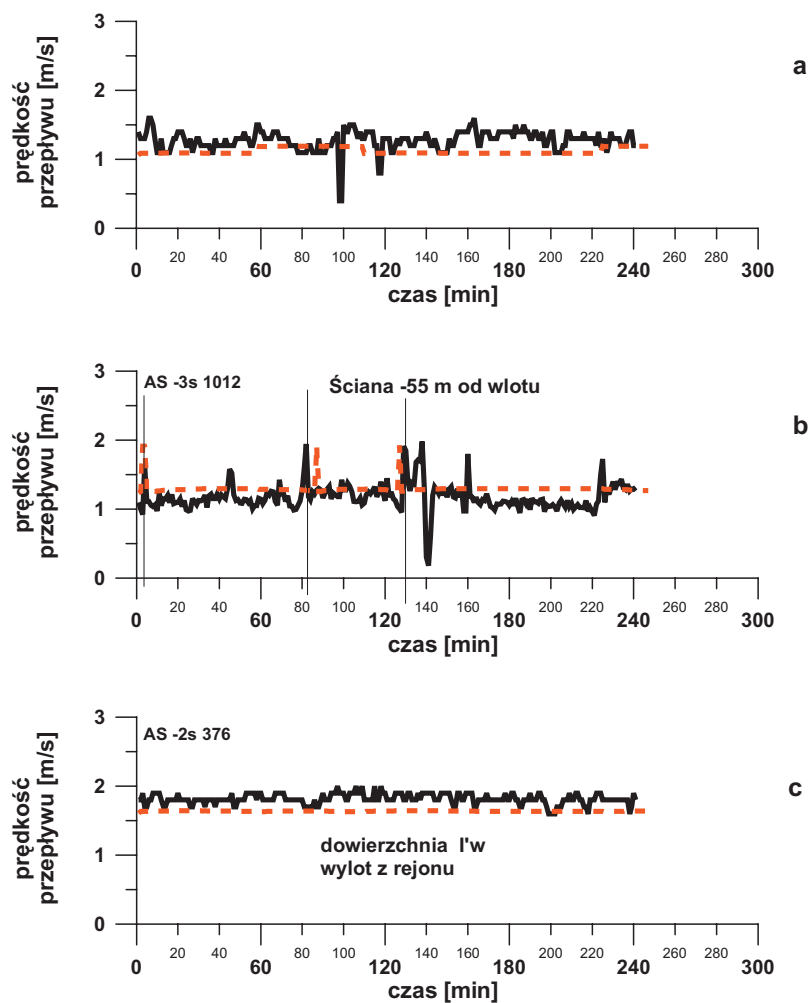
Rozmieszczenie czujników wirtualnego systemu monitoringu w ścianie 841A i w obu dwojczychniach były identyczne jak podczas eksperymentu, a miejsce ich lokalizacji pokazano w Tablicy 3 i 4 oraz na rysunku 1 (rozdział 2).

Dla wyznaczenia danych charakteryzujących przepływ w zrobach ściany 841A i zlikwidowanej ściany 841B wykorzystano teoretyczny model rozkładu przepuszczalności i kształtowania się wysokości zrobów (Dziurzyński W., 1999) oraz dane jakie wynikają z analizy mapy pokładu 405/2wg, profili geologicznych, projektu eksploatacji ściany (geometria wyrobisk, koty niwelacyjne, grubość pokładu eksploatowanego, rodzaj skał stropowych). Korzystając z powyżej wymienionych danych wyznaczono parametry charakteryzujące obszar zrobów zgodnie z wymogami zastosowanego modelu matematycznego. Istotną czynnością dla opracowanego modelu numerycznego jest wyznaczenie początkowego stanu rozplywu mieszaniny powietrza i metanu zarówno w wyrobiskach przyścianowych jak i w zrobach (rys. 13). W tym celu wykorzystano dane z rejestracji w systemie monitoringu zarówno przez czujniki stężenia metanu jak i anemometry stacjonarne. Rejestracje zmian stężenia metanu przed i w trakcie urabiania kombajnem w ścianie 841A, pozwoliły wykonać bilans metanowy i wyznaczyć wydatek objętościowy metanu zawarty w przepływającym powietrzu w ścianie, w dwojczychni I w oraz dopływający do obszaru zrobów ściany 841A. Wyznaczone dane przyjęto do dalszych obliczeń prognostycznych.

Przedstawione na rysunku 22a,b,c przebiegi prędkości przepływu powietrza uzyskane podczas symulacji oraz zarejestrowane przez stacjonarne anemometry wskazują na dobrą zgodność w odwzorowaniu w modelu rzeczywistych wartości przepływu powietrza mierzonych w czasie eksperymentu pomiarowego obejmującego okres urabiania kombajnem w ścianie 841A.



Rys. 21. Rozkład stężenia metanu w zrobach ściany 841A i 841B, stan początkowy – kombajn nie pracuje



Rys. 22a,b,c. Prędkość przepływu powietrza w wyrobiskach rejonu ściany 841A
 • linia ciągła – symulacja; • linia przerywana – monitoring 12.08.2009

Reasumując, przedstawione na rysunku 21 i 22a,b,c rozwiązania pozwalają stwierdzić, że stan przewietrzania rejonu ściany został poprawnie wyznaczony. Dla realizacji badań przygotowano komplet danych niezbędnych dla obliczeń wartości rozpyłów powietrza, rozkładów stężenia metanu w wyrobiskach i zrobach. Należy podkreślić, że przyjęta struktura połączeń oraz uwzględnienie sąsiednich zrobów daje dobre odwzorowanie rzeczywistej sytuacji ale spowodowało utworzenie bazy danych złożonej z 3508 bocznic, co wprawdzie wydłuża czas obliczeń podczas prowadzenia symulacji, jednak zapewnia dobrą jakością obliczeń i stanowi pozytywny czynnik w procesie walidacji.

4. Walidacja i dobór parametrów modelu matematycznego

Potwierdzenie wiarygodności wyników symulacji, czyli walidacja programu symulacyjnego *VentZroby*, wymaga porównania zarejestrowanych w czasie eksperymentu pomiarowego przebiegów stężenia metanu i prędkości przepływu powietrza w wybranych punktach ściany i sąsiednich wyrobisk z przebiegami stężenia metanu i prędkości przepływu powietrza otrzymanymi w wyniku symulacji komputerowej dla tych samych punktów zamodelowanego komputerowo rejonu. W ścianie 841A pokład 405/2wg porusza się kombajn, który po dłuższym postoju wynoszącym 8 godzin rozpoczyna urabianie węgla odsłaniając powierzchnię, z której desorbuje metan. Odstawa urobku w ścianie oraz w dowerzchni II' w odbywa się w kierunku przeciwnym do przepływu powietrza. Parametry pracy kombajnu oraz dobrane w procedurze walidacyjnej dane dotyczące gazodynamiki eksploatowanego pokładu 405/2wg przedstawiono w Tablicy 7.

Tab. 7

Parametry dla kombajnu i przenośnika transportowe...	
Wysokość zabioru [m]	3.0
Długość strefy oddziaływania kombajnu [m]	6.0
Prędkość kombajnu w górę ściany [m/s]	0.055
w dół	0.067
Czas ustalania się emisji metanu [s]	7200
Prędkość przenośnika ścianowego [m/s]	1.09
Prędkość przenośnika w chodniku transportowym [m/s]	1.09
Zabior kombajnu [m]	0.5
Gęstość węgla [kg/m ³]	1300
Początkowa prędkość wydzielania się metanu [m/s]	1.E-0004
Największa prędkość wydzielania się metanu [m/s]	2.0E-0004
Opór przed kombajnem [kg/m ⁷]	0.210
Zmiana przekroju na odc. z kombajnem [mniejszy o %]	35
Parametr dod. dla Pśc.	0.1
Parametr dod. dla Tśm	5.0

Istotnym elementem programu komputerowego *VentZroby* jest algorytm pozwalający na dokładne odtworzenie harmonogramu jazdy kombajnem (Rys. 9, przykład 1, Rys. 18, przykład 2) podczas urabiania, który uzyskano na podstawie analizy zarejestrowanego przez system monitoringu czasu pracy kombajnu, a dla drugiego przykładu z uwzględnieniem zarejestrowanej przez system monitoringu mocy pobieranej przez kombajn. Zasadnicze cechy tego harmonogramu to: zmienna prędkość ruchu kombajnu podczas urabiania w wybranym kierunku, uwzględnienie przerw w pracy kombajnu (postój), chwilowa zmiana kierunku urabiania oraz zmiany długość przebytej drogi między pracą kombajnu a postojem.

Celem badań jest taka zmiana wybranych parametrów modelu, aby minimalizować miarę odległości szeregów czasowych reprezentujących przebiegi stężenia metanu zmierzone i otrzymane na drodze modelowania numerycznego. W związku z powyższym przyjęto sprawdzoną podczas wykonanych w 2007 i 2008 roku (Dziurzyński, Krach, Pałka, Wasilewski, 2007, 2008) przykładach walidacji programu komputerowego **VentMet** (poprzednia wersja programu **VentZroby**) w oparciu o dane z eksperymentów przeprowadzonych w kopalni Budryk. Walidację programu komputerowego **VentZroby** z wykorzystaniem wyników eksperymentu *in situ* w kopalni Bielszowice wykonano dla 2 przykładów.

W pierwszym przykładzie dotyczącym obserwacji rejonu w dniu 12.08.09 od godziny 14:00 do 18:00 przeprowadzono symulacje, podczas których zmieniano parametry opisujące gazodynamikę wydzielania metanu tj. początkową prędkość wydzielania metanu, największą prędkość wydzielania metanu, długość strefy oddziaływania kombajnu (strefa emisji metanu) i czas ustalania się emisji metanu. Ponadto zmieniano stałe $P_{\dot{c}}$ i T_{sm} , zależne od własności sorpcyjnych węgla, od stopnia rozdrobnienia urobku i od średniej zawartość początkowej metanu w urobionym węglu, m^3/t . Dane które wynikają z charakterystyki ściany, do której należy zaliczyć: lokalny opór aerodynamiczny kombajnu, wysokość ściany, gęstość węgla, wielkość zabioru kombajnu, prędkość urabiania kombajnu, prędkość transportu urobku na przenośniku ścianowym i przenośniku taśmowym w dowierzchni II' w podczas obliczeń nie były zmieniane.

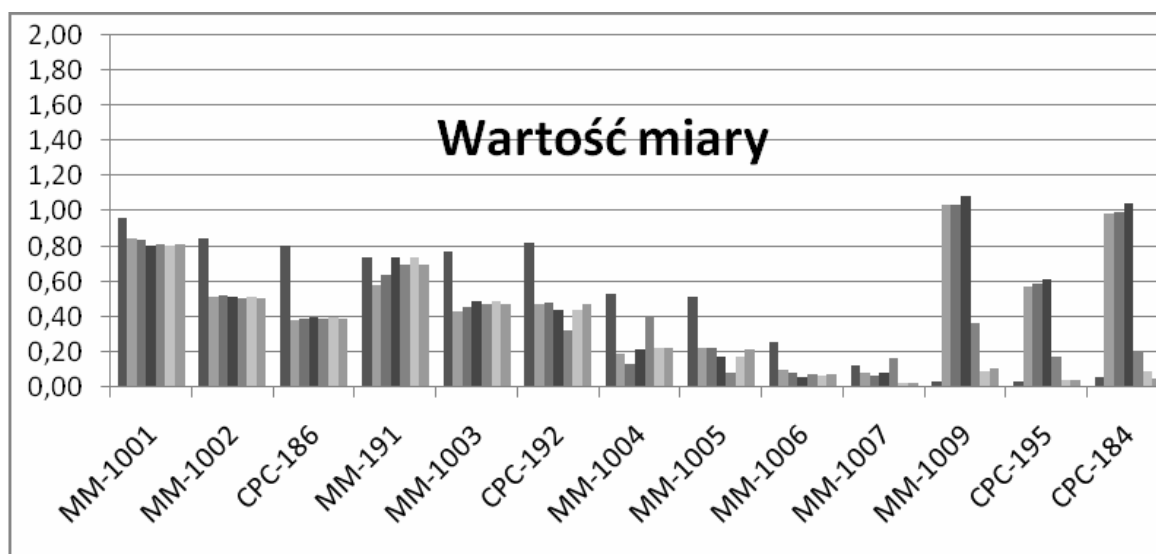
W przykładzie drugim dotyczącym obserwacji w dniu 01.10.09 skorzystano z parametrów modelu wyznaczonych dla pierwszego przykładu, a następnie dokonano obliczeń w celu porównania przebiegów stężenia metanu obliczonych programem **VentZroby**, a danymi zarejestrowanymi w systemie monitoringu rejonu ściany 841A.

4.1. Przykład 1

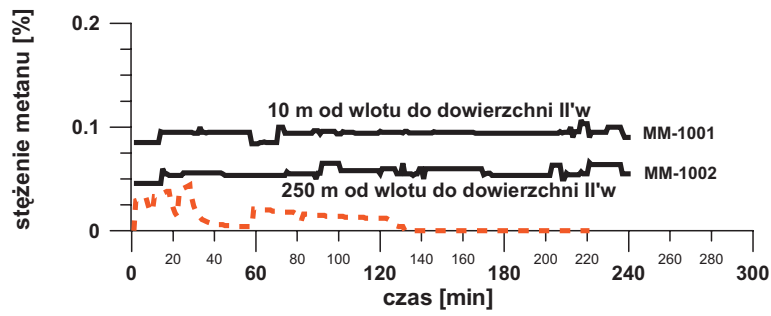
Wyniki komputerowych obliczeń zostaną przedstawione na wykresach zmian stężenia metanu rejestrowane przez wirtualne czujniki programu **VentZroby** oraz zmierzone wartości podczas eksperymentu. Na rysunku 23 przedstawiono zmiany wartości miary odległości dla 6 wybranych symulacji różniących się dobrać parametrami modelu matematycznego opisującego dopływ metanu podczas urabiania i przerw w pracy kombajnu ścianowego. Na rysunku 23 na osi poziomej mamy kolejne czujniki stężenia metanu, a na osi pionowej pokazano miarę odległości przebiegów stężenia metanu.

Na rysunku 23 kolumna pogrubiona umieszczona z lewej strony to rezultat obliczeń miary odległości przebiegów stężenia metanu dla przykładu 2.

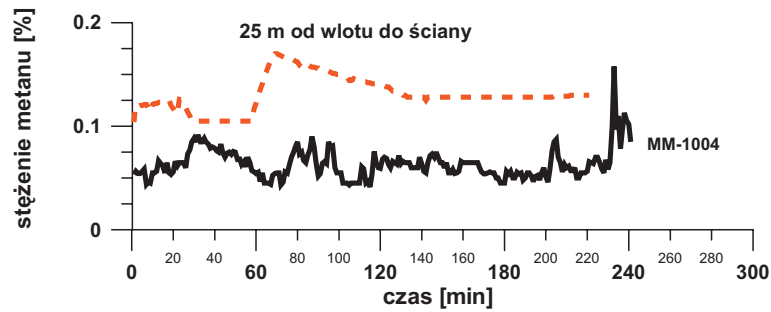
Na kolejnych rysunkach od nr 24 do 31 pokazano prognozowane (linia przerywana) i zarejestrowane przez czujniki systemu monitoringu (linia ciągła) przebiegi stężenia metanu, przy czym przebiegi prognozowane pokazano dla symulacji, która ma najmniejszą wartość miary (rys. 24) co jest równoznaczne, że prezentowany przebieg ma najlepiej według przyjętej miary (pogrubiona kolumna z prawej strony rys. 24) dobrane parametry modelu matematycznego.



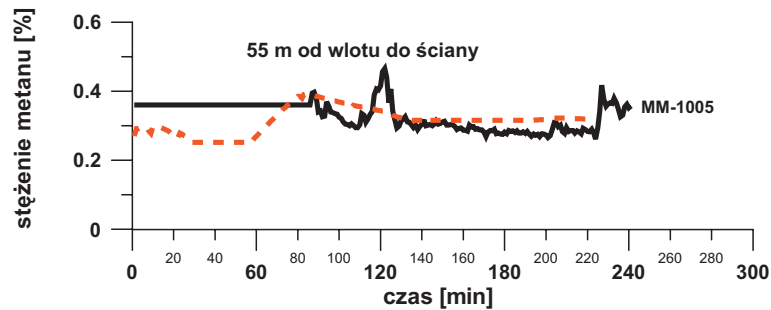
Rys. 23. Miary odległości dla kolejnych czujników



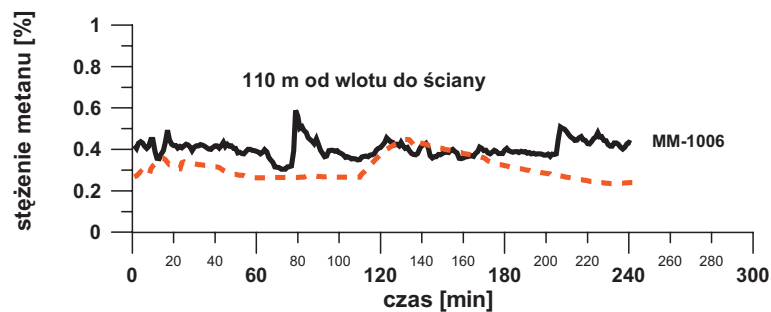
Rys. 24. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika MM 1001 i MM 1002



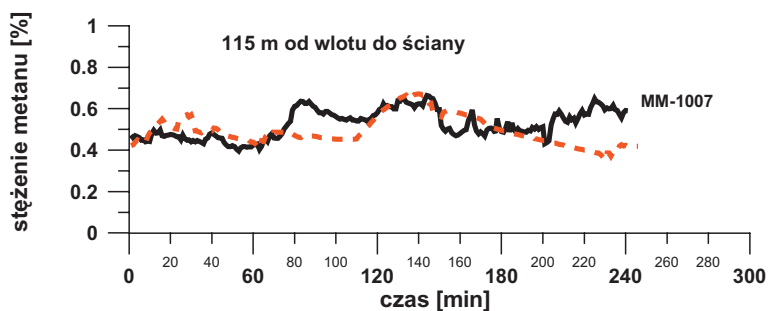
Rys. 25. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika MM 1004



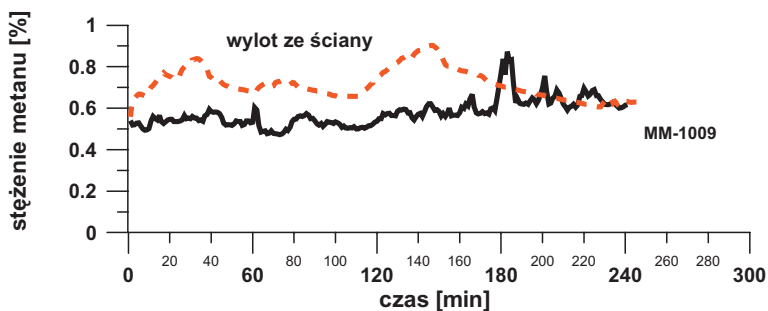
Rys. 26. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika MM 1005



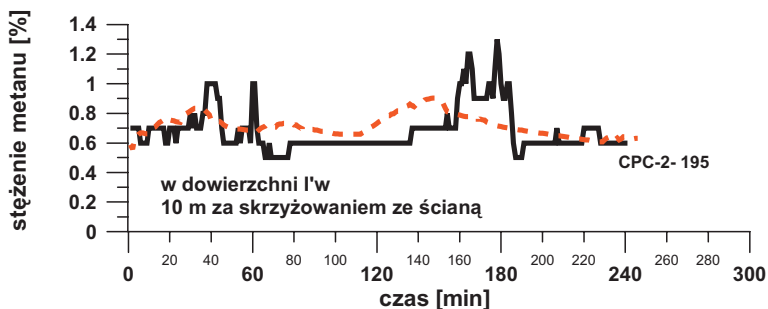
Rys. 27. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika MM 1006



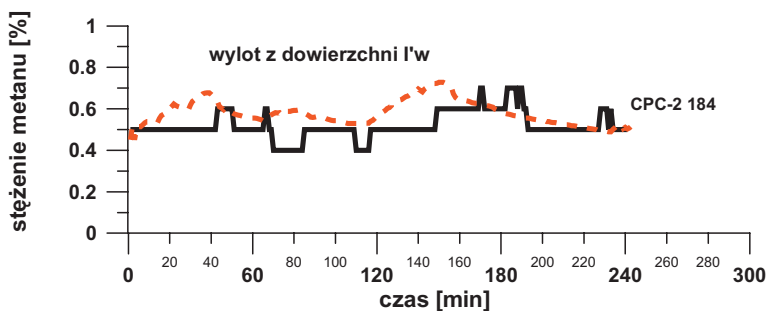
Rys. 28. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika MM 1007



Rys. 29. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika MM 1009



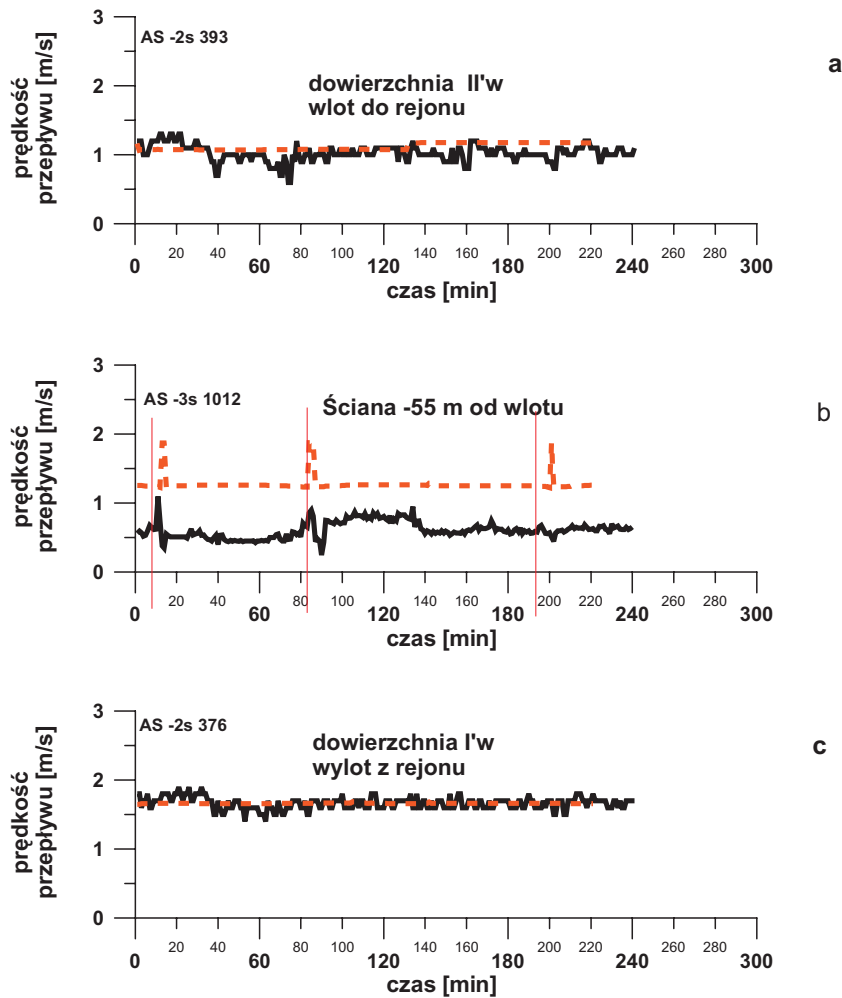
Rys. 30. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika CPC-2 195



Rys. 31. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika CPC-2 184

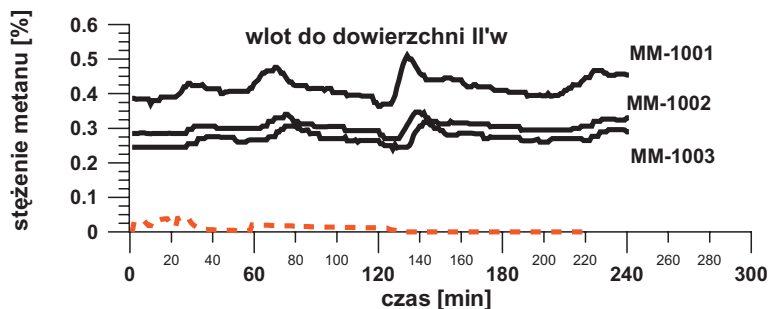
4.2. Przykład 2

Przykład drugi dotyczący obserwacji parametrów przepływu powietrza w rejonie ściany 841A w dniu 01.10.09 w godzinach od 14:00 do 18:00. W obliczeniach symulacji rozptyłu mieszaniny powietrza i metanu skorzystano z parametrów modelu wyznaczonych podczas obliczeń dla pierwszego przykładu w dniu 12.08, a następnie dokonano badań porównawczych między obliczonymi przebiegami zmian stężenia metanu uzyskanych programem *VentZroby*, a danymi zarejestrowanymi w systemie monitoringu rejonu ściany 841A. Uzyskane wyniki przedstawiono w postaci wykresów zmian prędkości przepływu powietrza (rys. 32a,b,c) oraz stężenia metanu (rys. 33-40) w miejscu umieszczenia czujników systemu pomiarowego.

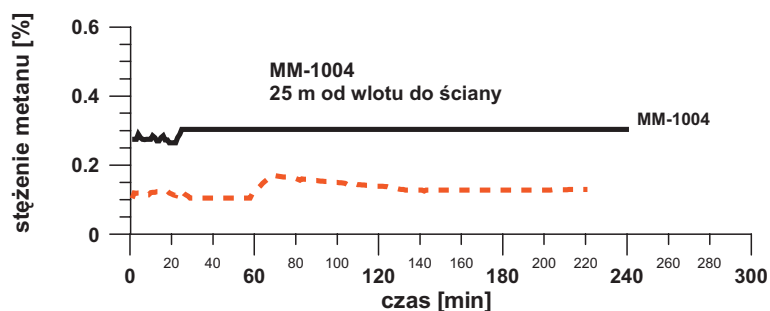


Rys. 32a,b,c. Prędkość przepływu powietrza w wyrobiskach rejonu ściany 841A
 • linia ciągła – symulacja; • linia przerywana – monitoring 01.10.2009

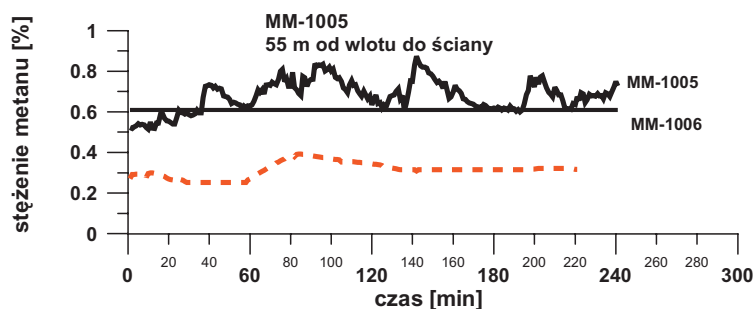
Na rysunku 33 pokazano przebiegi prędkości przepływu powietrza uzyskane podczas symulacji oraz zarejestrowane przez stacjonarne anemometry zlokalizowane na wlocie do rejonu ściany 841A, w dowerzchni II'w, oraz na wylocie z rejonu ściany 841a, w dowerzchni I'w. Na uwagę zwraca różnica pomiędzy przebiegiem prędkości zmierzonej w czasie eksperymentu pomiarowego przez anemometr o numerze AS1012 umieszczonego na 55m w ścianie 841A oraz przebiegiem uzyskanym w symulacji komputerowej, podczas gdy wartości prędkości rejestrowane na wlocie (AS-2s-393) i na wylocie (AS-2s-376) z rejonu ściany były na identycznym poziomie.



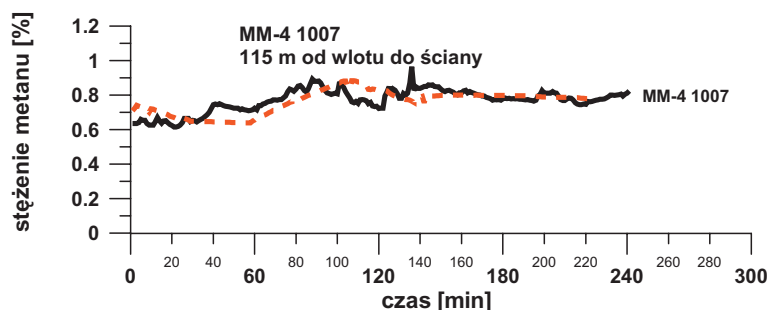
Rys. 33. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika MM 1001, MM 1002, MM 1003



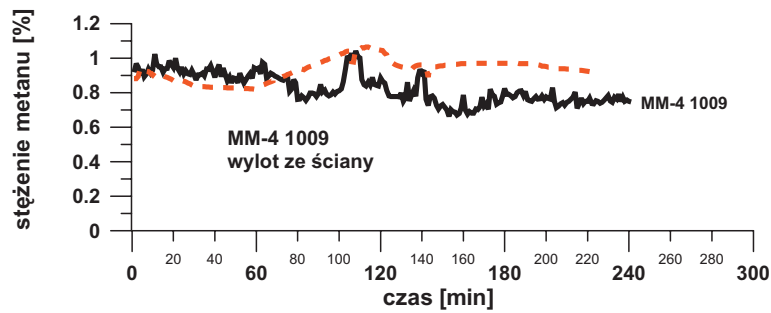
Rys. 34. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika MM 1004



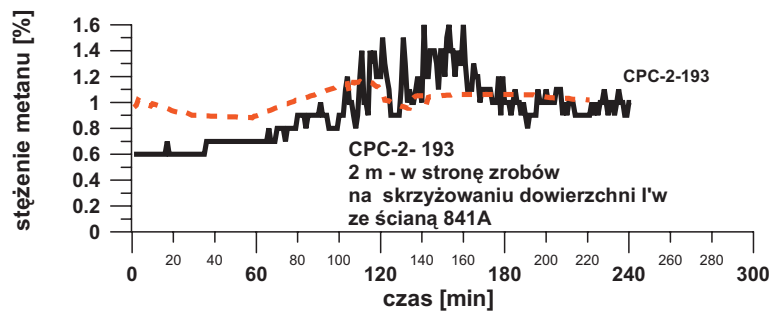
Rys. 35. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika MM 1005, MM 1006



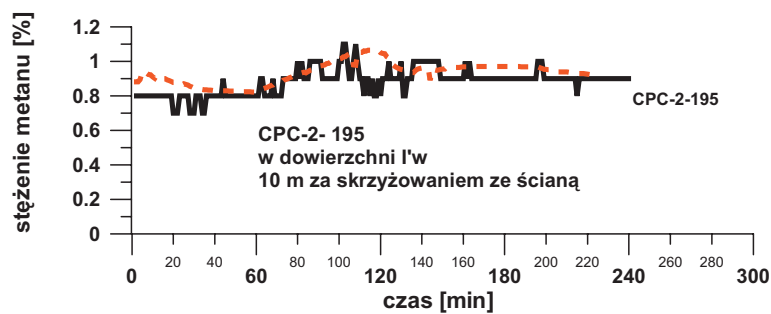
Rys. 36. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika MM 1007



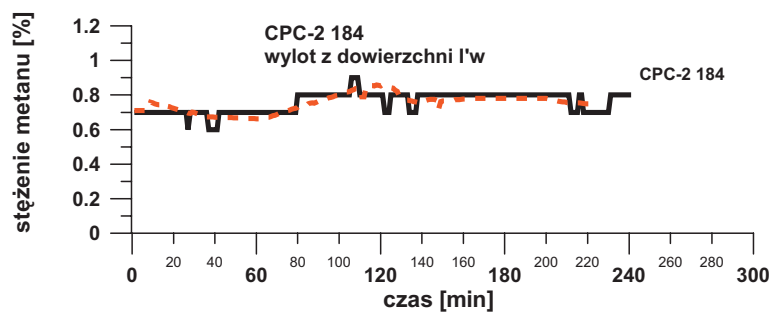
Rys. 37. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika MM 1009



Rys. 38. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika CPC-2 193



Rys. 39. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika CPC-2 195



Rys. 40. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika CPC-2 184

Przedstawione na rysunkach od 32 do 40 przebiegi stężenia metanu rejestrowane przez czujniki systemu pomiarowego wykazują znaczą zmienność szczególnie w ścianie oraz w dowieczni IIw, w której odbywa się odstawa urobku ze ściany 841A. Zmierzone wartości stężenia metanu rejestrowane przez czujniki metanu MM1001, MM1002, MM1003 w dowieczni IIw jest wysokie jak na wyrobisko doprowadzające świeże powietrze do ściany 841A. Ponieważ urabianie kombajnem w ścianie rozpoczęło się o 13:58 to należy przyjąć, że powodem tak wysokiego poziomu stężenia metanu mogła być desorpcja metanu z węgla leżącego na zatrzymanym taśmociągu wzdłuż dróg transportowych.

5. Podsumowanie

Celem proponowanych obserwacji oraz eksperymentów było rozpoznanie źródeł metanu w rejonie ściany oraz wyznaczenie rozkładu parametrów powietrza, a w szczególności metanu, wzdłuż ściany w czasie urabiania kombajnem.

W czasie badań prowadzono długookresową obserwację parametrów technologicznych oraz parametrów powietrza w rejonie ściany w oparciu o standardowe urządzenia kontrolno-pomiarowe systemu gazometrii automatycznej i systemu nadzoru procesu technologicznego uzupełnionych o dodatkowe urządzenia pomiarowe. Wykonano również dwa eksperymenty badawcze pod kątem pomiaru parametrów powietrza z wykorzystaniem precyzyjnej aparatury przenośnej rozmieszczonej w wybranych punktach rejonu ściany.

Przyjęte założenia badań jako poznanie zmian parametrów powietrza w rejonie ściany, a w szczególności prędkości powietrza i stężenia metanu w rejonie ściany w czasie pracy kombajnu, zostały w znacznej mierze spełnione chociaż należy wyraźnie podkreślić, że nie zostały w pełni zrealizowane.

Przeprowadzone obserwacje i eksperymenty pokazały wiele trudności oraz braków technicznych w jednoznacznej rejestracji pracy maszyn w rejonie ściany oraz ich związku ze zmianami parametrów powietrza.

Do głównych braków prowadzonych obserwacji parametrów technicznych maszyn należy zaliczyć:

- brak możliwości jednoznacznej rejestracji położenia kombajnu w ścianie (czujnik położenia),
- brak możliwości rejestracji prędkości ruchu kombajnu,
- brak możliwości rejestracji masy urobku.

Do głównych braków prowadzonych obserwacji parametrów powietrza stanowiących dane wejściowe do modelowania i symulacji komputerowej rozkładu parametrów w ścianie należy zaliczyć:

- brak rozkładu parametrów powietrza (prędkości powietrza i stężenia metanu) w przekrojach pomiarowych
- brak możliwości rejestracji stężenia metanu na kombajnie (w pobliżu głowicy).

Przedstawione w artykule wyniki porównań przebiegów stężenia metanu i prędkości powietrza zarejestrowanych przez system monitoringu kopalni i odpowiadających im przebiegów stężenia metanu i prędkości powietrza otrzymanych z symulacji komputerowej dają podstawę do sformułowania szeregu wniosków odnośnie jakości pomiarów w systemie monitoringu, jak i jakości modelowania komputerowego przebiegów rejestrowanych wielkości. Można stwierdzić, że udaje się odtworzyć czasowe przebiegi prędkości i poziom stężeń metanu dla rejonu ściany, co świadczy, że wiele przyjętych modeli i algorytmów jest prawidłowych.

W zakresie prędkości przepływu powietrza otrzymano dobrą zgodność wyników pomiaru i wyników modelowania, z wyjątkiem wyników pomiarów rejestrowanych przez anemometr stacjonarny umieszczony w ścianie. Rozbieżność taką można wytłumaczyć tym, że anemometr stacjonarny mierzy prędkość miejscową powietrza, co przy bardzo nierównomiernym profilu prędkości w ścianie jest przyczyną znacznych odchylenia od wartości prędkości powietrza otrzymanych z symulacji komputerowej, gdzie prędkość ta jest obliczana jako iloraz strumienia objętości i powierzchni przekroju wyrobiska, czyli jest to prędkość średnia w przekroju. W miejscach, gdzie profil prędkości powietrza w wyrobisku jest zbliżony do płaskiego otrzymuje się znacznie lepszą zgodność pomiędzy mierzoną prędkością miejscową a obliczaną prędkością średnią w przekroju wyrobiska.

Rozbieżności między wynikami rejestracji stężeń metanu i przebiegami stężeń otrzymanych drogą symulacji komputerowej mają bardziej złożone przyczyny. Oprócz podobnej jak w przypadku prędkości powietrza różnicy pomiędzy stężeniem miejscowym, rejestrowanym w systemie monitoringu a stężeniem średnim w przekroju wyrobiska otrzymywanym w wyniku symulacji komputerowej przyczyną rozbieżności

może być niedoskonałość algorytmu do obliczania strumienia metanu przypadającego na jednostkę długości ściany w danej odległości od początku ściany, dopływającego z calizny ściany przed i za urabiającym kombajnem i z węgla na przenośniku ścianowym. W obecnie stosowanym algorytmie powiązany jest ruch kombajnu w wybranym z góry kierunku z urabianiem i ruchem przenośnika ścianowego i przenośnika w chodniku odstawczym. Wyniki rejestracji ruchu kombajnu, uzyskane w ramach niniejszej pracy wskazują na celowość rozdzielenia danych o ruchu kombajnu, urabianiu i ruchu przenośników, oddzielnie dla przenośnika ścianowego i przenośnika w chodniku odstawczym, w danych wejściowych do programu symulacji. Wymaga to uzyskania z kopalni dokładniejszych danych o ruchu kombajnu, umożliwiających obliczenie prędkości kombajnu na poszczególnych odcinkach jego ruchu wzdłuż ściany, pozwalających odróżnić jazdę kombajnu bez urabiania od jazdy z urabianiem, a także danych o ruchu lub postoju przenośnika ścianowego i odstawczego. Istotna dla symulacji jest bowiem informacja, czy poruszający się kombajn urabia i dostarcza węgiel na przenośnik ścianowy, czy kombajn stoi lub porusza się bez urabiania a urobek wyjeżdża na przenośniku poza ścianę, czy też w tym wypadku również stoi przenośnik z urobkiem. W każdym z tych wymienionych przypadków mamy do czynienia z innym rozkładem sumarycznego strumienia metanu z jednostki długości do powietrza przepływającego przez ścianę i w związku z tym otrzymuje się inne przebiegi wskazań wirtualnych czujników stężenia metanu przy symulacji komputerowej.

Innym problemem jest weryfikacja samego modelu emisji metanu z calizny ściany przed i za urabiającym kombajnem. Przyjęty tutaj model, przedstawiony w pracy Blecharz, Dziurzyńskiego, Kracha i Pałki (2003) i modyfikowany w kolejnych pracach (Dziurzyński i in., 2007b, 2008), przybliży rozkłady natężenia metanu przed i za kombajnem rozkładami trójkątnymi. Dla weryfikacji tego modelu należałoby wykonać pomiary natężenia wypływu metanu z calizny węglowej ściany w czasie gdy urabiający kombajn zbliża się do punktu pomiarowego a następnie w czasie, gdy kombajn minął już punkt pomiarowy i następuje emisja metanu z odsłoniętej powierzchni węgla. Wykonanie takich pomiarów jest zagadnieniem złożonym, trudnym do realizacji i może stanowić przedmiot oddzielnej pracy badawczej.

Jednocześnie należy zaznaczyć, że nigdy wcześniej w badaniach nie było tak bogatego wyposażenia w aparaturę pomiarową parametrów w ścianie. Równocześnie zastosowana w badaniach aparatura pomiarowa spełniła najwyższe wymagania w zakresie dokładności i dynamiki rejestracji.

Wybrany obiekt badań, ściany 84la w pokładzie 405/2wg w KWK Bielszowice, był niezwykle trudny z uwagi na występujące zagrożenia tapaniami. Nie wszystkie urządzenia systemu badawczego mogły być zabudowane lub były zabudowane ze znacznym opóźnieniem ze względu na przyjęte strefy i ograniczenia przebywania ludzi oraz załogi w rejonie ściany. Badania były przerywane dwukrotnie po wystąpieniu obwałów, przy czym po ostatnim zdarzeniu w dniu 5 października ściana do dziś nie została uruchomiona. Te zdarzenia w ścianie stwarzały wiele ograniczeń organizacyjno-technicznych, które utrudniły wykonywanie długookresowej obserwacji oraz przeprowadzenie eksperymentów pomiarowych wg. przyjętych założeń (Dziurzyński i in., 2009).

Praca została wykonana w roku 2009 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Udział wzięli: Wacław Dziurzyński, Stanisław Wasilewski, Andrzej Krach, Teresa Pałka, Jerzy Krawczyk, Janusz Kruczkowski, Przemysław Skotniczny, Wiesław Chmiel, Tadeusz Bacia, Stanisław Milak, Robert Nowak

Literatura

- Airuni A.T., 1987: *Prognozowanie i przedotwraszczenie gazodynamicznych jawień w ugodnych szachtach*. Moskwa, „Nauka”.
- Biernacki K., Gumiński A., 1999: *Ocena dokładności wykonywania bazy danych kopalnianej sieci wentylacyjnej dla obliczeń komputerowych*. Mat. 1. Szkoły Aerologii Górniczej, Zakopane.
- Blecharz B., Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., 2003: *Symulacja przepływu mieszaniny powietrza i metanu w rejonie ściany, z uwzględnieniem procesu urabiania i odstawy węgla*. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, nr 3-4, (2003) s. 55-67.
- Drzęzła B., Badura H., 1980: *Przybliżony rozkład stężenia metanu emitowanego z urobku*. Archiwum Górnictwa, t. 25, z. 2.
- Dziurzyński W., Pałka T., 1999: *Przetwarzanie danych systemu monitoringu sieci wentylacyjnej w programach komputerowych Inżyniera Wentylacji Ventgraph*. Prace IMG PAN, Vol. 1, No. 1-2 (11), s. 175-192.

- Dziurzyński W., Pałka T., 2000: *Algorytmy komputerowej symulacji procesu przewietrzania umożliwiające dostęp i wykorzystanie danych systemu monitoringu sieci wentylacyjnej*. Prace IMG PAN.
- Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., 2001: *Prognozowanie rozkładu stężenia metanu w sieci wentylacyjnej z uwzględnieniem systemu monitoringu*. Prace IMG PAN, t. 3, nr 1-2.
- Dziurzyński W., Krach A., Krawczyk J., Pałka T., 2005: *Walidacja modelu matematycznego przewietrzania kopalni stosowanego w programie VentMet z wykorzystaniem bazy danych pomiarowych wybranego rejonu wentylacyjnego KWK*. Prace IMG PAN, t. 7, nr 1-2.
- Dziurzyński W., Krach A., Krawczyk J., Pałka T., 2007: *Zastosowanie miary odległości szeregów czasowych do walidacji modelu matematycznego przewietrzania kopalni stosowanego w programie VentMet*. Przegląd Górniczy, nr 1, 2007.
- Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., Wasilewski St., 2007: *Walidacja komputerowego programu symulacji wentylacji VentMet dla rejonu ściany, z uwzględnieniem zmiennych w czasie źródeł metanu, związanych z cykliczną pracą kombajnu*. Prace IMG PAN, t. 9, nr 1-2.
- Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., Wasilewski St., 2008: *Walidacja programu VentZroby z wykorzystaniem wyników eksperymentu „in situ” i z zastosowaniem nowych algorytmów przygotowania danych wejściowych*. Prace IMG PAN, t. 10, nr 1-4.
- Dziurzyński W. i in., 2009: *Przygotowanie merytoryczne i wykonanie eksperymentu badawczego w ścianie wydobywczej o wysokim poziomie zagrożeń naturalnych i technologicznych w aspekcie pozyskania danych dla weryfikacji modelu matematycznego rozkładu stężenia metanu podczas urabiania kombajnem. Etap I. Opracowanie założeń i wytycznych dla przeprowadzenia eksperymentu badawczego w rejonie ściany 841a pokład 405/1 w KWK Bielszowice*. Zespół IMG PAN pod kierunkiem W. Dziurzyńskiego, Kraków, kwiecień 2009.
- Materiały KWK Bielszowice dotyczące warunków górniczo-geologicznych, zagrożeń naturalnych, przewietrzania, wyposażenia ściany i danych technicznych systemu zabezpieczeń metanometrycznych i wczesnego wykrywania pożarów w systemie gazometrii automatycznej*. Marzec 2009.
- Tarasow B.G., Kołmakow W.A., 1978: *Gazowyj barjer ugołnych szacht*. Moskwa „Niedra”.
- Wasilewski St., 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, Katowice.

The validation of VentZroby software procedures with the use of the mine atmosphere condition monitoring system

Abstract

Air parameter monitoring systems, irrespective of the fulfilling of gasometric protection measures, provide a significant amount of measurement data. The data obtained from such systems enrich the knowledge of the processes taking place in underground workings as well as show the relations and impact of the operation of machinery and technological processes on the changeability of the ventilation parameters in longwall areas.

The presently used investigation methodology is based, in many domains, on the methods of the study of processes with the use of the computer simulation method. The progress made in the computer simulation systems in the field of ventilation processes has become rather noticeable recently in many areas, including fire issues, the distribution of methane in abandoned workings or, recently, the distribution of the methane in the longwall areas where combined cutter-loaders are operating.

The credibility of the simulation results depends, to a large degree, on the correctness of the adopted models and the appropriate match of the model parameters to the actual conditions. For this identification and validation, methods based on measurements and in-situ experiments are used.

The basis of the validation of the *VentZroby* software procedures is a research experiment that was carried out on the 841A longwall, 405/2wg seam in the Bielszowice mine. The experiment comprised a long-term observation of the 841A longwall area that was conducted within the mine monitoring system and a specially developed research system in the period from August to October 2009. Interesting measurement data were obtained that were subsequently used for the validation of software procedures, as well as for the development of multidimensional mathematical models and the evaluation of the operation of measuring sensors working within the mine atmosphere condition monitoring system. At the same time, complex and precise ventilation measurements were carried out for working out a numeric model of the 841A longwall area, 405/2wg bed, and adjoining headings along with abandoned workings.

In the paper, successive results of the *VentZroby* software validation are presented, which were obtained by the comparison of the measurement results acquired from the experiments to those of the computer simulation carried out for this same mine area, while for the validation two measurement periods were selected: one dated 12 Dec. 2009, and the other dated 01 Oct. 2009. Owing to the long-term observation of the area conducted by the monitoring system, a modification of the model of the methane emission from the unmined coal, before mining the longwall with a combined cutter-loader started, was indispensable. The mathematical model modification was aimed

to determine the methane distribution along the longwall after a longer stoppage of the mining machine operations and before mining was resumed. The combined cutter-loader operation was considered in two cycles: with mining in one direction consistent with the direction of the airflow, and with the stoppage of conveyors during the breaks of the cutter-loader operations. The experiments carried out, along with the observation of combined cutter-loader operations, brought forth new elements for the preparation of the input data for the simulation programme, as well as for the determination of the structure and parameters of the ventilation system together with abandoned workings, and with taking into account the cutter-loader machine utilisation parameters and those of the model of the methane emission from the longwall and from the winning obtained at the mining.

The calculated simulation results and the comparison of these results to those obtained from the measurements in the mine show extensive *VentZrob*y programme possibilities for making forecasts of the ventilation conditions in the area of a longwall that is mined with a combined cutter-loader. However, at the same time, the comparison has shown some imperfections in the existing solutions, and it determined a further model and experimental research trends.

Keywords: mine ventilation, validation, methane hazard, combine cutter-loader operation, monitoring system