

# Walidacja komputerowego programu symulacji wentylacji VentMet dla rejonu ściany, z uwzględnieniem zmiennych w czasie źródeł metanu, związanych z cykliczną pracą kombajnu

WACŁAW DZIURZYŃSKI, ANDRZEJ KRACH, TERESA PAŁKA, STANISŁAW WASILEWSKI

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

## Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki walidacji komputerowego programu symulacji procesu przewietrzania kopalni na przykładzie rejonu silnie metanowej ściany B-5 pokład 358/1 KWK „Budryk”, obejmującego fazę urabiania kombajnem i odstawy urobku. Do badań wykorzystano wyniki eksperymentu obserwacji za pomocą systemu monitoringu rejonu ściany podczas urabiania kombajnem. Dla celów eksperymentu pomiarowego w rejonie ściany rozmieszczono dodatkowe czujniki stężenia metanu, ciśnienia i prędkości [3] oraz wykonano dodatkowe sprawdzające pomiary wentylacyjne dla wyznaczenia parametrów charakteryzujących przepływ powietrza w rejonie [14].

Z uwagi na sposób pracy kombajnu oraz odstawy urobionego węgla w stosunku do kierunków przepływu powietrza w rejonie zmodyfikowano model matematyczny pracy kombajnu przedstawiony w pracy [2].

Do walidacji zastosowano miarę odległości szeregów czasowych [8] pozwalającą na ocenę ilościową wiarygodności przyjętego modelu matematycznego w programie *VentMet*. Przygotowano model numeryczny rejonu wentylacji obejmujący zroby ścian B-3, B-4 i B-5 pokład 358/1, dla którego wykonano symulację komputerową wpływu pracy kombajnu i dopływu metanu podczas jego pracy na rozptyw mieszaniny powietrza i metanu oraz porównano wyniki symulacji z rezultatami zarejestrowanymi przez czujniki systemu monitoringu w kopalni podczas eksperymentu pomiarowego. Wyznaczono miarę dla kolejnych symulacji, dla których dokonano zmiany wybranego parametru modelu kombajnu. Dokonano porównania przebiegów czasowych zmian stężenia metanu, które pokazano na rysunkach. W postaci graficznej pokazano również wyznaczone wartości miar dla poszczególnych czujników oraz ich końcową wartość. Uzyskane wyniki badań wykazały przydatność komputerowej symulacji dla odtworzenia warunków przepływu powietrza w złożonej sieci wyrobisk kopalni. Wykonane badania pokazały dobrą jakość uzyskanych prognoz oraz pozwoliły na sformułowanie wniosków zarówno do przeprowadzonego eksperymentu jak i do stosowanego modelu matematycznego procesu przewietrzania wentylacji kopalni.

**Słowa kluczowe:** wentylacja kopalń, walidacja, dopływ metanu, praca kombajnu, system monitoringu

## 1. Wstęp

Prognozowanie stanu wentylacji w kopalniach głębinowych za pomocą komputerowych programów symulacyjnych staje się skuteczną metodą badań oraz ma coraz większe znaczenie. Jako przykład należy wymienić próby oceny stanu wentylacji w kopalni Halemba czy Zofiówka po zaistniałych tam katastrofach. To doświadczenie pokazało, że takie narzędzie wnosi wiele wartości poznawczych dla bieżącej analizy i oceny przyczyn zdarzenia jak i dla zapobiegania podobnym zdarzeniom. Wymienione przykłady pokazały, że obecne możliwości symulacji procesu wentylacji, mimo systematycznego postępu, są w dalszym ciągu niezadawalające. Niewątpliwie istotną przeszkodą jest złożoność procesu wentylacji, szczególnie w bezpośrednim rejonie eksploatacji systemem ścianowym. Trudne warunki górnicze stwarzają wysokie wymagania zarówno dla badaczy jak i dla służb kopalń oraz wymuszają staranne przygotowanie eksperymentu pomiarowego. Przyjmuje się, że jednym z celów badań eksperymentalnych jest dostarczenie danych dla walidacji zastosowanych modeli matematycznych w programie komputerowym. W ramach badań prowadzonych

w IMG PAN prowadzi się prace, które mają za cel opracowanie profesjonalnego programu symulacji oraz prognozy procesu przewietrzania w sieci wyrobisk kopalni. Istotne jest, aby uwzględnił on możliwie ujęcie czynników mających zasadniczy wpływ na ocenę stanu bezpieczeństwa i efektywności systemu wentylacji. W ostatnich latach badania skupiają się na zagadnieniu walidacji programu symulacyjnego *VentMet*, opracowanego w Instytucie Mechaniki Górnotworu i systematycznie rozbudowywanego. Obecnie możliwości tego programu są znaczne i umożliwiają rozpatrywanie wielu scenariuszy wentylacji rejonów eksploatacji systemem ścianowym z uwzględnieniem:

- dopływu metanu do zrobów i wyrobisk przyścianowych,
- dopływu metanu wynikającego z pracy kombajnu,
- zmiany oporu ściany wynikającego z ruchu kombajnu,
- wpływu zmian ciśnienia atmosferycznego i uwzględnienie oddychania zrobów,
- zmiany w warunkach przewietrzania rejonu, stawianie i otwieranie tam,
- inertyzacji zrobów dwutlenkiem węgla, azotem i metanem,
- rozwoju ogniska pożaru w zrobach.

Wymienione możliwości programu są weryfikowane z praktyką górniczą, ale ze względu na obiekt badań, uzyskanie danych przydatnych do walidacji jest niezwykle trudne. Powody tego stanu rzeczy wynikają głównie z trudności, jakie stawiają badaniom warunki górniczo-geologiczne oraz z faktu, że obiekt badań to żywy organizm z natury nie przyjazny eksperymentom. Dobrze, że kierownictwo kopalń oraz służby wentylacyjne są przychylnie eksperymentom badawczym, które na ogół przeszkadzają w codziennej pracy górników. Biorąc powyższe pod uwagę organizuje się przemyślane eksperymenty, które są akceptowane przez kierownictwo kopalni. Ważną rzeczą w tych eksperymentach jest zapewnienie bezpieczeństwa podczas badań. W dalszej części przedstawione zostaną wyniki jednego z eksperymentów [3], które pozwoliło na wykonanie kolejnego kroku w procesie walidacji programu symulacyjnego *VentMet*.

Wykonany eksperyment pozwolił na za sprawdzenie przydatności zastosowanego w programie modelu matematycznego pracy kombajnu i odstawy urobku, dla którego zmodyfikowano model matematyczny pracy kombajnu przedstawiony w pracy [2]. Zmiana wynikała ze sposobu pracy kombajnu oraz kierunku odstawy urobionego węgla w stosunku do kierunków przepływu powietrza w rejonie. Ponadto walidacji poddano rozptyw powietrza w rejonie ściany B-5 pokład 358/1 w oparciu o zarejestrowane przebiegi prędkości przepływu powietrza przez anemometry systemu monitoringu. Przystępując do walidacji opracowano numeryczny model obejmujący wiele wyrobisk rejonu oraz zroby ściany B-5, a także zroby wcześniej eksploatowanych ścian B-3 i B-4 pokład 358/1. Następnie należało wstępnie dobrać opory wyrobisk [9], które uzyskano z bazy danych systemu *Ventgraph* [4]. Założono źródła dopływu metanu do zrobów przyjmując równomierny dopływ metanu z jego powierzchni. Po opracowaniu modelu graficznego rejonu (rys. 9) przystąpiono do obliczeń rozptywu powietrza i metanu w rejonie w celu wyznaczenia warunków początkowych dla dalszej walidacji. Obliczenie stanu początkowego wykazało potrzebę regulacji przepływu (zmian w oporach wyrobisk) tak aby uzyskać stan w przepływie i rozkładzie stężeń odpowiadający na dzień eksperymentu.

Przystępując do właściwej walidacji szczególny nacisk położono na odpowiedni dobór parametrów modelu pracy kombajnu. Część parametrów przyjęto na podstawie informacji z dnia eksperymentu (zabiór, wysokość i długość ściany, prędkość ruchu kombajnu, prędkość przenośników) pozostałe jak np. dopływ metanu przed i w czasie urabiania dobierano w procesie walidacji. Wykonane symulacje przyniosły wiele interesujących wyników i pozwoliły na postawienie istotnych wniosków zarówno dla przygotowania przyszłych eksperymentów jak i pokazały ograniczenia stosowanego modelu. Należy zaznaczyć, że w rozważaniach przyjęto, że niepewność pomiaru wielkości mierzonych przez czujniki systemu monitoringu są pomijalnie małe w stosunku do rozpatrywanych różnic między wartościami mierzonymi i prognozowanymi [7, 13].

## **2. Eksperyment badawczy – rejon eksploatacji ściany B-5 pokład 358/1 w KWK Budryk**

Stan przewietrzania w kopalni głębinowej podlega ciągłym zaburzeniom, które wywołane są czynnikami naturalnymi, ale również procesami technologicznymi chociaż panuje powszechne przekonanie, że te ostatnie zakłócenia mają raczej lokalny charakter.

Obecnie stosowane w kopalniach wyposażenie, szczególnie w ścianach o dużej wydajności, gdzie gabaryty maszyn są znaczne w stosunku do przekroju wyrobisk, w czasie pracy maszyn, a w szczególności

kombajnu w ścianie, ma wpływ na warunki przewietrzania. Eksperyment był próbą odpowiedzi w jakim zakresie kombajn poruszający się w ścianie wpływa na rozkład ciśnień i warunki przepływu (zasada ruchomej tamy), a co za tym idzie zmiany rozkładu metanu w ścianie. W czasie eksperymentu [3] prowadzono unikatowe rejestracje ciśnienia barometrycznego, prędkości powietrza oraz stężenie metanu w różnych punktach wzdłuż ściany w czasie ruchu maszyn i wydobywania. Takie rejestracje wykraczają ponad rutynowe pomiary w ścianie wynikające z przepisów górniczych.

Podczas badań zastosowano specjalistyczną aparaturę, także urządzenia systemu metanometrii automatycznej o działaniu szybkim. Rejestracje ciśnienia bezwzględne prowadzono z wykorzystaniem cyfrowych mierników ciśnienia barometrycznego typu  $\mu\text{Bar}$ . Cykl odczytu i rejestracji w pamięci barometrów wynosił 2 sekundy. Rejestracje zmian przepływu powietrza prowadzono za pomocą anemometrów AS-3 natomiast stężenia metanu w różnych punktach ściany rejestrowano za pomocą metanomierzy MM-2 w systemie SMP-NT. Wszystkie parametry powietrza były rejestrowane w systemie w cyklu co 2 sekundy.

## 2.1. Miejsce i warunki eksperymentu

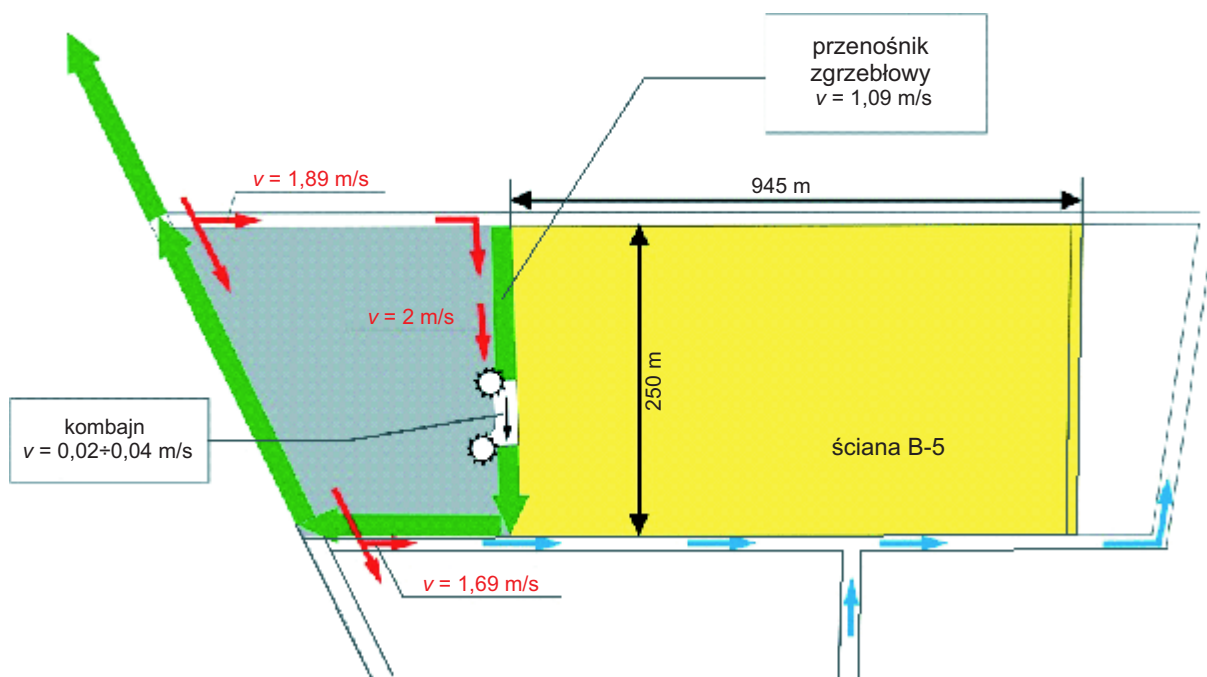
Ściana B-5 zlokalizowana była w partii B pokładu 358/1 (rys. 2) pomiędzy chodnikiem B-4, a chodnikiem B-5. Wysokość ściany wynosiła  $1,8 \div 3,0$  m; długość do 250 m; wybieg ściany 1245 m, nachylenie przeciętnie wynosiło około  $3 \div 11^\circ$  w kierunku południowo-wschodnim.

### Zagrożenia naturalne

Pokład 358/1 zaliczony był do klasy B zagrożenia wybuchem pyłu węglowego oraz do II grupy samozapalności stąd uznany za mało skłonny do samozapalenia. Pokład nie był zagrożony tapaniami. Ściana B-5 wraz z wyrobiskami w partii B pokładu 358/1 objęte były granicami pola metanowego IV kategorii zagrożenia metanowego oraz zaliczone zostały do pomieszczenia „c” niebezpieczeństwa wybuchu. Temperatura pierwotna górotworu w rejonie rozczinki rozruchowej ściany B-5 była wysoka (wynosiła  $34^\circ\text{C}$ ) oraz ze względu na duże moce zainstalowanych urządzeń w rejonie występowało pogorszenie warunków klimatycznych, tzn. podwyższona temperatura lub niska intensywność chłodzenia przy dużej wilgotności powietrza.

### Wyposażenie ściany B-5

W ścianie B-5 w pokładzie 358/1 (rys. 1) w czasie eksperymentu stosowano kombajn KSW 620E o maksymalnej mocy 720KW, prędkości roboczej posuwu  $0 \div 15,6$  m/s. Długość kombajnu pomiędzy osiami



Rys. 1. Parametry technologiczne i odstawy urobku w ścianie B-5 pokł. 358/1

organów przy poziomo ustawionych ramionach wynosiła 13,15 m, a wysokość minimalna od spągu bez osłon 1,45 m. Urabianie odbywało się dwukierunkowo lub jednokierunkowo w kierunku chodnika podścianowego na całą wysokość pokładu i na zabiór do 0,8 m. Obudowa ścianowa zmechanizowana zastosowana w ścianie, przeznaczona jest do pracy w ścianowych, zawałowych systemach eksploatacji pokładów węglowych o grubości 1,7 m do 3,0 m oraz przystosowana do współpracy z przenośnikiem ścianowym LONGWALL AFC o wydajności średniej 1500 t/h, mocy napędów 800 kW oraz prędkości łańcucha zgrzeblowego 1,09 m/s. Odstawę urobku ze ściany B-5 za pomocą przenośników taśmowych o szerokości taśmy 1200 mm i prędkości 2,5 m/s lub 3,15 m/s prowadzono w prądach świeżego powietrza chodnikiem B-5 oraz dalej pochylnią transportową w kierunku szybu wydobywczego.

### Przewietrzanie rejonu ściany B-5 pokł. 358/1

Rejonu ściany B-5 pokł. 358/1 (rys. 2) był przewietrzany systemem Y z odświeżaniem zużytego powietrza. Świeże powietrze do ściany B-5 doprowadzane było z szybu VI poziom 900 m przekopem pochyłym odstawczym do partii B pokł. 358/1, a następnie pochylnią transportową i chodnikiem B-4. Prąd powietrza wypływający ze ściany B-5 był doświeżany powietrzem z pochylni transportowej chodnikiem B-5. Zużyte powietrze ze ściany odprowadzane było chodnikiem B-5 wzdłuż zrobów na wschód do pochylni wentylacyjnej południowej A, pochylnią wentylacyjną i przecinką wentylacyjną do szybu V na poziom 984 m (rys. 2). Wydzielanie metanu w rejonie ściany B-5 pokł. 358/1 wynosiło  $28\div 36\text{ m}^3/\text{min}$ . Z uwagi na zagrożenie temperaturowe w chodniku B-5 zabudowano urządzenie chłodnicze.

## 2.2. Przebieg eksperymentu

Eksperyment przeprowadzono w dniu 13.07.2006 roku na zmianie roboczej A w godzinach od 8:00÷11:00. Szczegółowe rozmieszczenie czujników w ścianie B-5 pokł. 358/1 w czasie eksperymentu, pokazano schematycznie na rysunku 2.

W momencie rozpoczęcia eksperymentu tzn. około godziny 8:10 kombajn znajdował się „na górze” (sekcja 160) i po wykonaniu przekładki ruszył około godziny 8:17 w kierunku „na dół” przejeżdżając kolejno obok 120 sekcji około godziny 8:50, obok 80 sekcji około 9:15 oraz 40 sekcji około 9:30. Około godziny 9:48 kombajn zakończył skraw w dolnej części ściany (5 sekcja) oraz rozpoczął „przekładkę”. Rejestracja czasu pracy w systemie ZEFIR pokazuje, że w czasie jazdy kombajnu w dół nastąpiła krótka dwuminutowa przerwa (9:11÷9:13) co zostało zarejestrowane przez obserwatora przy sekcji 80, ale wg jego zapisów to było przed godziną 9:10.

Dla lepszej prezentacji zmian parametrów w zależności od położenia kombajnu, ścianę podzielono na trzy strefy A (czerwona), B (zielona), C (niebieska), taki podział przyjęto na kolejnych rysunkach.

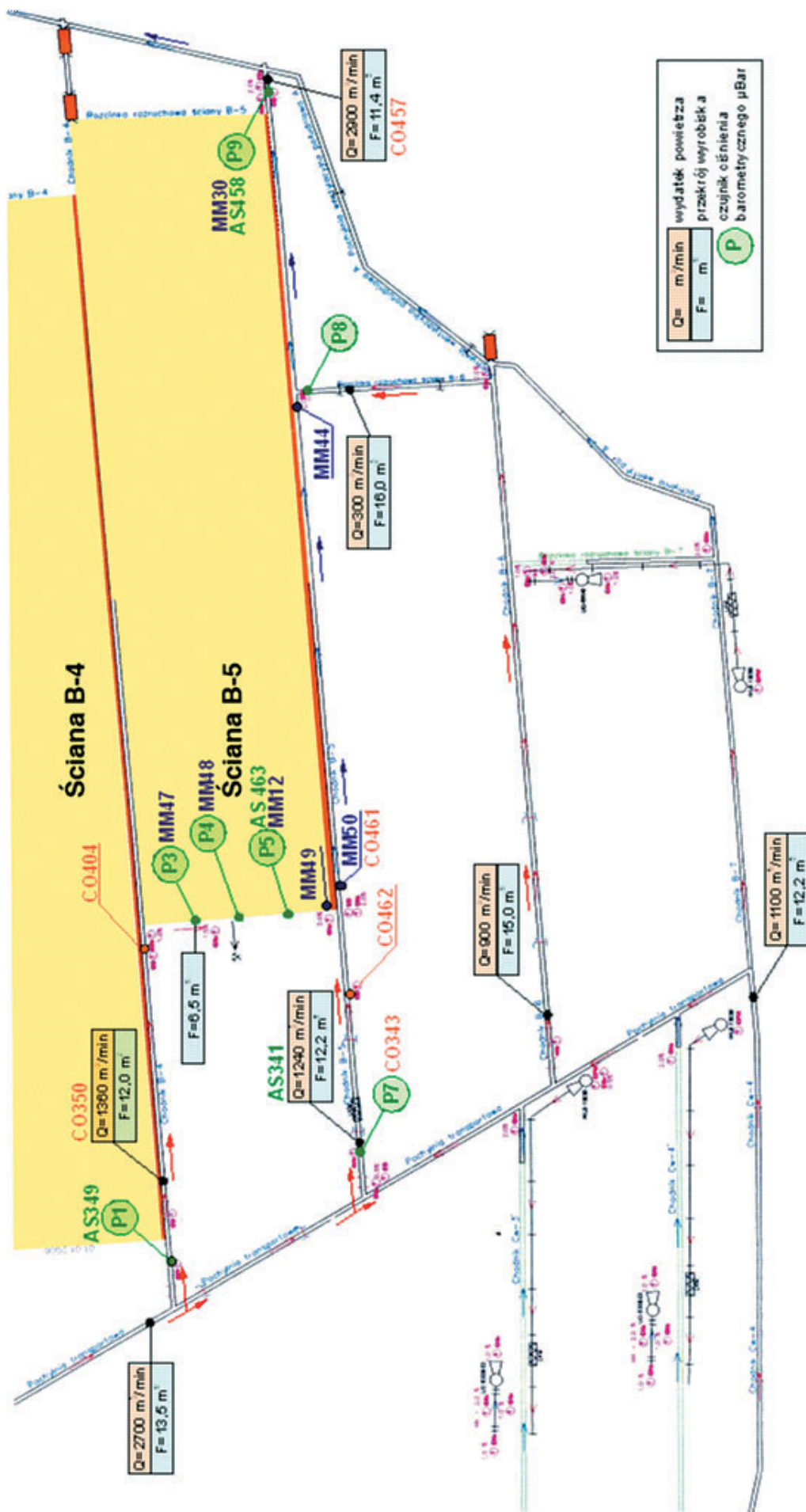
## 2.3. Rejestracja parametrów powietrza w ścianie B-5 pokład 358/1

Rejestracje ciśnienia bezwzględnego powietrza prowadzono za pomocą specjalistycznych cyfrowych mierników ciśnienia typu  $\mu\text{Bar}$  (tab. 1) rozmieszczonych w punktach pokazanych na schemacie przewietrzania rejonu ściany B-5 pokł. 358/1 (rys. 2). Ciśnienia powietrza były rejestrowane w cyklu 2 sekundowym.

Ponadto w czasie eksperymentu prowadzono rejestrację prędkości powietrza oraz stężenia metanu w ścianie oraz wyrobiskach przyległych za pomocą urządzeń kopalnianego systemu monitorowania. Rozmieszczenie czujników pokazano na schemacie (rys. 2), a ich parametry w tabeli 1 i 2.

### Rejestracja ciśnień w rejonie ściany B-5 pokł. 358/1

Ciśnienia bezwzględne rejestrowane w czasie eksperymentu we wszystkich punktach pomiarowych (tab. 1) w rejonie ściany pokazują znaczną zmienność. Duża część zaburzeń ciśnienia przenosi się od wlotu rejonu ściany B-5 pokł. 358/1 Aby pokazać wpływ przemieszczania się kombajnu w ścianie na zmiany ciśnień w ścianie (tzw. efekt ruchomej tamy) wyznaczono spadki ciśnienia  $\Delta p = p_i - p_j$ , dla ciśnień w górnej części ściany ( $p_4-p_3$ ), w dolnej części ściany ( $p_5-p_4$ ), a także w całej ścianie ( $p_5-p_3$ ). Zmiany spadków ciśnienia w czasie jazdy kombajnu związane ze sprężaniem czy rozprężaniem powietrza widać wyraźnie na rys. 4, gdzie zbiorczo pokazano przebiegi spadków ciśnienia na odcinku górnym ( $p_4-p_3$ ), dolnym ( $p_5-p_4$ ) oraz wypadkowo w całej ścianie ( $p_5-p_3$ ).

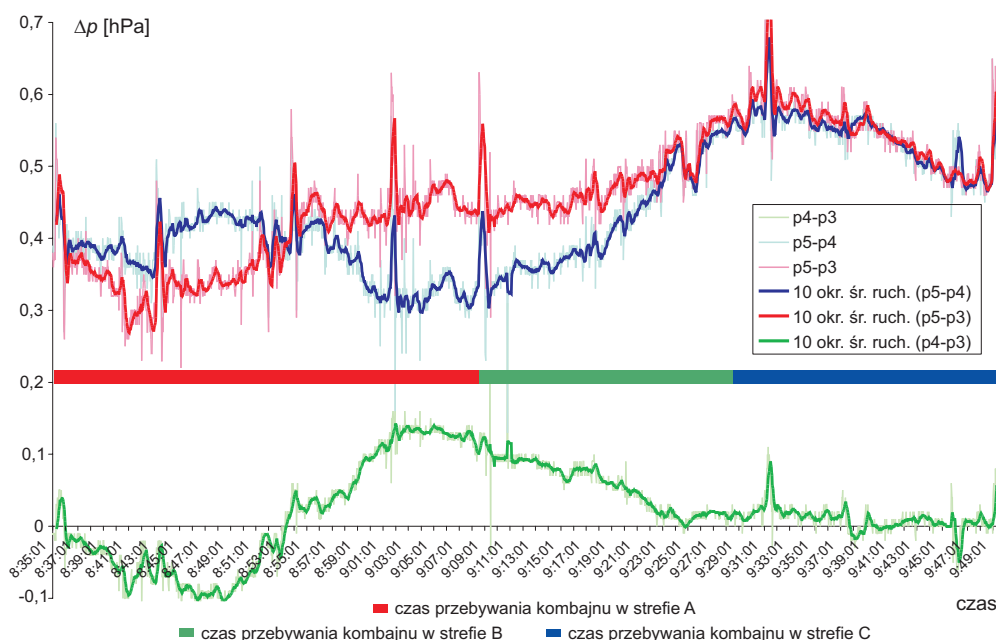


Rys. 2. Schemat rejonu ściany B-5 pokł. 358/1 wraz z miejscem zabudowy czujników podstawowych i dodatkowych systemu gazometrii

Tab. 1. Lokalizacja punktów rejestracji ciśnienia bezwzględnego

Punkt pomiarowy	Numer czujnika	Lokalizacja – miejsce pomiaru
p1	B41	chodnik B-4 – 100 m na wschód od pochylni transportowej
p7	B42	chodnik B-5 – 100 m na wschód od pochylni transportowej
p3	B23	ściana B-5 – sekcja nr 120
p4	B21	ściana B-5 – w połowie ściany – sekcja nr 80
p5	B20	ściana B-5 – sekcja nr 40
p8	B28	rozcinka rozruchowa ściany B-6
p9	B25	chodnik B-5, 15 m na zachód od pochylni wentylacyjnej południowej A

Wpływ jazdy kombajnu na zmiany ciśnienia wyraźnie pokazują spadki ciśnienia na ścianie (p5-p3) oznaczone na rysunku 4 linią czerwoną. W pierwszym okresie kiedy kombajn znajdował się w górnej części ściany w strefie A widać wyraźne obniżenie (p5-p3), a następnie kiedy kombajn znajdował się w środkowej części ściany strefa B tzn. w czasie 8:55÷9:15 przebieg (p5-p3) jest w miarę stabilny (oczywiście z chwilowymi wahaniami) natomiast kiedy kombajn wjechał do dolnej części ściany strefa C wywołał wzrost (p5-p3) do wartości maksymalnej około 9:30 kiedy kombajn przejechał sekcję 40, a następnie spadek.

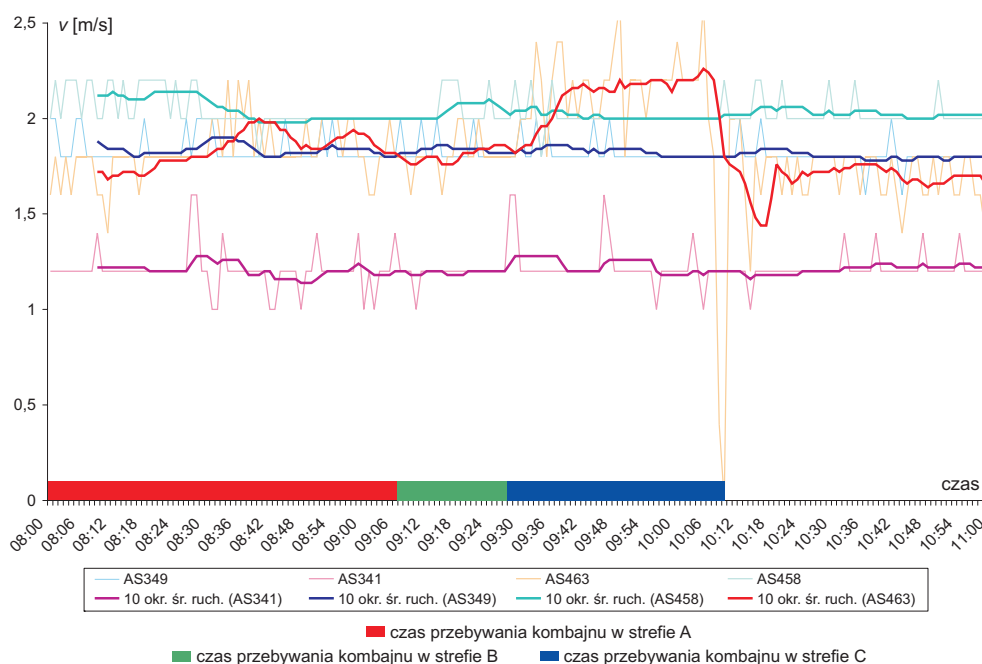


Rys. 3. Spadki ciśnienia w ścianie B-5 pokł. 358/1 w czasie jazdy kombajnu

### Rejestracja prędkości powietrza w rejonie ściany B-5 pokł. 358/1

W czasie eksperymentu w ścianie B-5 pokł. 358/1 prowadzono rejestrację prędkości powietrza za pomocą anemometrów stanowiących zabezpieczenie gazometryczne rejonu ściany w systemie dyspozytorskiego nadzoru. Były to anemometry AS349, AS341 oraz AS458, których miejsca zabudowy pokazano na rysunku 2 oraz podano w tabeli 2. Dodatkowo dla celów eksperymentu w ścianie na wysokości sekcji 40, zabudowano anemometr AS463, który również włączono do systemu dyspozytorskiego nadzoru.

Analizując przebiegi prędkości powietrza w rejonie ściany B-5 pokł. 358/1 (rys. 4) w czasie eksperymentu można stwierdzić, że charakteryzowały one niezmiennie warunki przewietrzania, oczywiście z chwilowymi lokalnymi i nieistotnymi zaburzeniami. Prędkości powietrza na wlocie (AS349) (zasadniczy dopływ świeżego powietrza do rejonu ściany), jak również w prądzie odświeżającym zużyte powietrze (AS341), utrzymywały się na ustalonym poziomie z chwilowymi fluktuacjami. W efekcie również prąd zużytego powietrza rejestrowany na wylocie z rejonu ściany (AS458) nie ulegał zmianom. Równocześnie widoczne są wahania prędkości powietrza w ścianie B-5 pokł. 358/1 rejestrowane przez dodatkowy ane-



Rys. 4. Prędkości powietrza w rejonie ściany B-5 pokł. 358/1

momenty w ścianie AS463 (linia czerwona rys. 4). Przebiegi prędkości powietrza w ścianie były zaburzane przejazdem kombajnu w pobliżu anemometru, kiedy prędkość wzrastała na okres około pół godziny, nawet o 25% wartości średniej. Był to niewątpliwie efekt zmiany czynnego przekroju poprzecznego w ścianie wskutek pojawiania się kombajnu o znacznych gabarytach około  $1,5 \times 1,5$  co daje powierzchnię  $2,25 \text{ m}^2$ , a więc stanowiło istotną przesłonę przekroju ściany bo blisko 30% przekroju czynnego ściany  $S = 6,5 \text{ m}^2$ .

Porównując zmiany przepływu powietrza w ścianie B-5 pokł. 358/1 w dłuższym okresie obserwacji np. jednej doby, to obserwowano zmienność wartości chwilowej prędkości powietrza, na zmianach roboczych, wywołaną ruchem kombajnu w ścianie, przy stabilnym poziomie wartości średniej. Równocześnie w czasie wolnym tzn. przerw w urabianiu prędkość powietrza w ścianie była stabilna nawet bez chwilowych zaburzeń. Zakłócenia wywołane przemieszczeniem kombajnu w ścianie miały jedynie wpływ na lokalne zmiany prędkości i pozostawały bez wpływu na warunki rozplywu powietrza w rejonie ściany. Równocześnie należy stwierdzić, że chwilowe wzrosty prędkości powietrza w momencie przejazdu kombajnu mogą poprawiać efekt mieszania w przestrzeni ściany, co może mieć również wpływ na zmiany stężenia metanu.

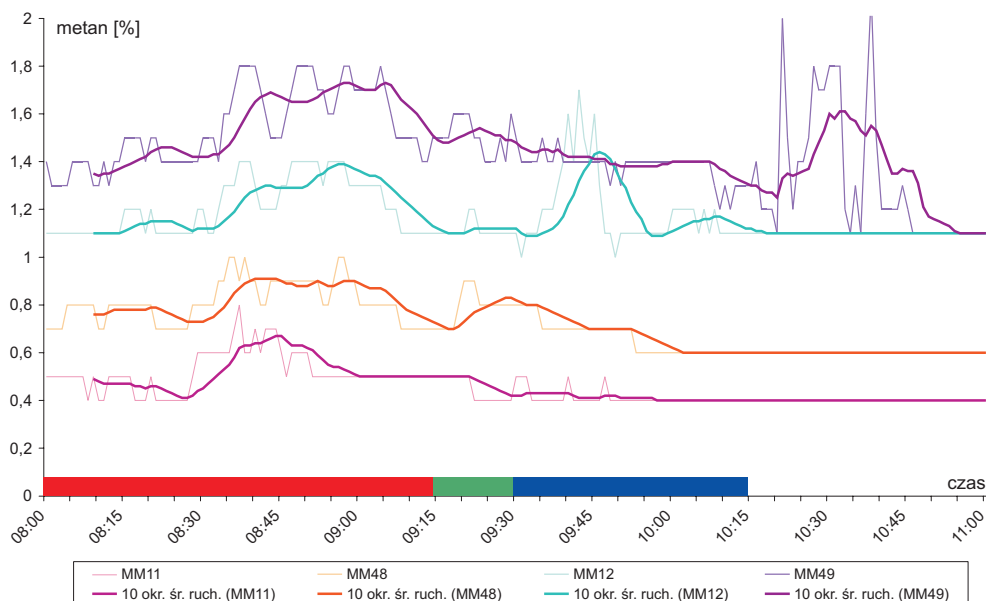
#### Rejestracja stężenia metanu w rejonie ściany B-5 pokł. 358/1

Zagrożenia metanowe w rejonie ściany B-5 pokł. 358/1 podobnie jak całej kopalni Budryk S.A. były monitorowane i kontrolowane w systemie gazometrii automatycznej najnowszej generacji. Wszystkie sygnały pomiarowe były rejestrowane w systemie w cyklu 2. sekundowym. W rejonie ściany B-5 w ramach zabezpieczenia metanometrycznego zabudowanych było sześć metanomierzy typu MM-2 (rys. 2, tab. 2), w tym jeden metanomierz MM48, z uwagi na duże zagrożenie metanowe w tej ścianie, zabudowano dodatkowo w połowie ściany. Dodatkowo na czas eksperymentu w ścianie zabudowano dwa metanomierze MM11 (sekcja 120) oraz MM12 (sekcja 40), miejsce ich zabudowy pokazano na rys. 2. Metanomierz MM47 na wlocie do ściany 10 m od chodnika B-4 w całym analizowanym okresie nie wykazywały wahań, a zmiany stężenia w zakresie  $\pm 0,1\%$   $\text{CH}_4$  mieszczą się w granicach błędów metanomierza. Metanomierz MM11 zabudowany dodatkowo na czas eksperymentu w ścianie na 120 sekcji w okresie 12.07÷20.07 wykazywał niewielkie zmiany wywołane eksploatacją i pracą maszyn w ścianie. Przyrost stężenia metanu widać wyraźnie (rys. 5) w czasie kiedy kombajn dojeżdżał do tego czujnika. Metanomierz MM48 zabudowany zgodnie z dokumentacją w połowie ściany z uwagi na wysokie zagrożenie metanowe w ścianie B-5 pokł. 358/1 pokazywał znacznie większą zmienność wartości chwilowych związaną z eksploatacją i pracą kombajnu w ścianie co potwierdza rejestracja z okresu eksperymentu (rys. 5). Kolejnym metanomierzem w ścianie był MM12 zabudowany dodatkowo na czas eksperymentu na sekcji 40. Przebieg stężenia metanu rejestrowany w czasie eksperymentu wykazał znaczne wahania z chwilowym przyrostem nawet do  $0,6\%$   $\text{CH}_4$  w czasie urabiania (rys. 5) przez kombajn

w sąsiedztwie tego czujnika około godz. 9:30÷9:40. Jeszcze większe wahania stężenia metanu są widoczne na przebiegach z metanomierza MM49 (rys. 5) zabudowanego na wylocie ze ściany 2 m od chodnika B-5. Były to zaburzenia niewątpliwie związane z wydobyciem i pracą kombajnu. Widoczny jest wysoki poziom stężenia metanu powyżej 1,0% CH<sub>4</sub> w całym okresie trwania eksperymentu, co potwierdza, że ten metanomierz rejestruje przyrost metanu z urabiania w całej ścianie.

Tab. 2. Lokalizacja metanomierzy i anemometrów systemu monitorowania zagrożeń

Metanomierze	
MM47	Ściana B-5 w odległości do 10 m od chodnika B-4 pokł. 358/1
MM11	Ściana B-5 – sekcja nr 120, pokł.358/1.
MM48	Ściana B-5 1/2 długości ściany – sekcja nr 80 pokł. 358/1
MM12	Ściana B-5 – sekcja nr 40, pokł. 358/1.
MM49	Ściana B-5 w odległości 2 m od chodnika B-5 pokł. 358/1
MM50	Chodnik B-5, około 10 m na wschód od linii zrob. śc. B-5 pokł. 358/1
MM44	Chodnik B-5, w odległości 10-15 m na zachód od rozcz. rozruch. ściany B-6 pokł. 358/1
MM30	Chodnik B-5 – 10-15m na zachód od pochylni wentyl. południowej A
Anemometry	
AS349	Chodnik B-4, w odległości 50-100 m na wschód od poch. transp. pokł. 358/1 poz. 900
AS341	Chodnik B-5 w odległości ok. 50-100 m na wschód od poch. transp. pokł. 358/1, poz. 900.
AS463	Ściana B-5 – w odległości około 30 m od chodnika B-5 , pokł. 358/1.
AS458	Chodnik B-5 w odległości około 10-15 m na zachód od pochyl. wentyl. pld. A

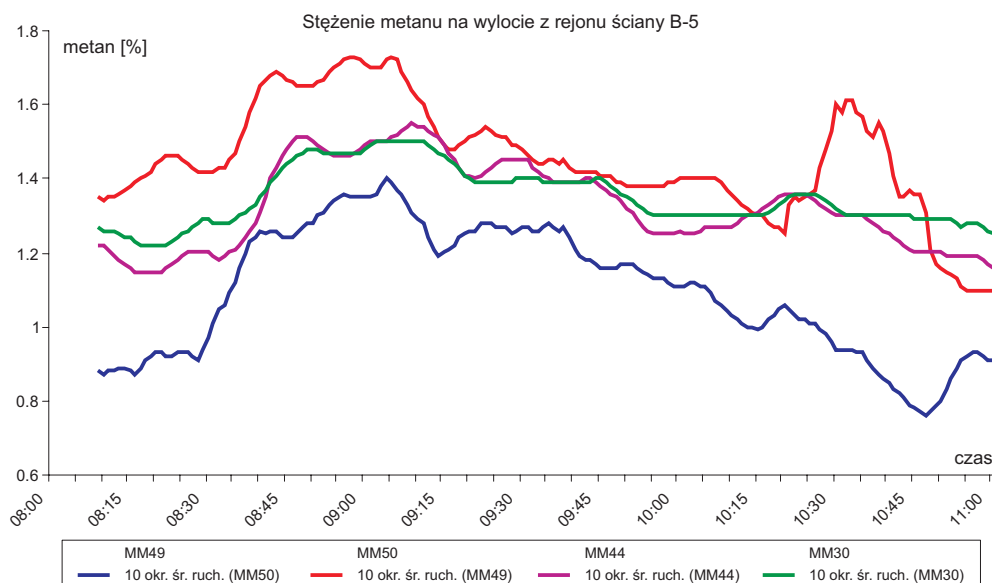


Rys. 5. Stężenie metanu w rejonie ściany B-5 pokł. 358/1

Porównując średni poziom stężenia metanu na czujnikach wzdłuż ściany (rys. 5) widać wzrost stężenia metanu na kolejnych metanomierniach idąc od góry ściany (wlotu) MM11 w kierunku do dołu (wylotu) MM49. Równocześnie widać przesuwające się czoło wzrostu stężenia metanu w kierunku przepływu powietrza, także przemieszczającego się w dół ściany. Obserwowane zmiany były wynikiem przyrostu stężenia metanu w wyniku sumowania się wydzielanego metanu wzdłuż ściany w czasie jazdy i urabiania kombajnu, w tym wypadku zgodnie z kierunkiem przepływu powietrza. Ten efekt niewątpliwie zależy od wzajemnego kierunku kombajnu i przepływu powietrza.

Efekt pracy kombajnu wraz z okresowymi wzrostami stężenia metanu widać również poza ścianą w prądzie wylotowym z rejonu tzn. na metanomierniach MM50, MM44 i MM30 rozmieszczonych wzdłuż chodnika B-5 (rys. 6).





Rys. 6. Stężenie metanu na wylocie z rejonu ściany B-5 pokł. 358/1

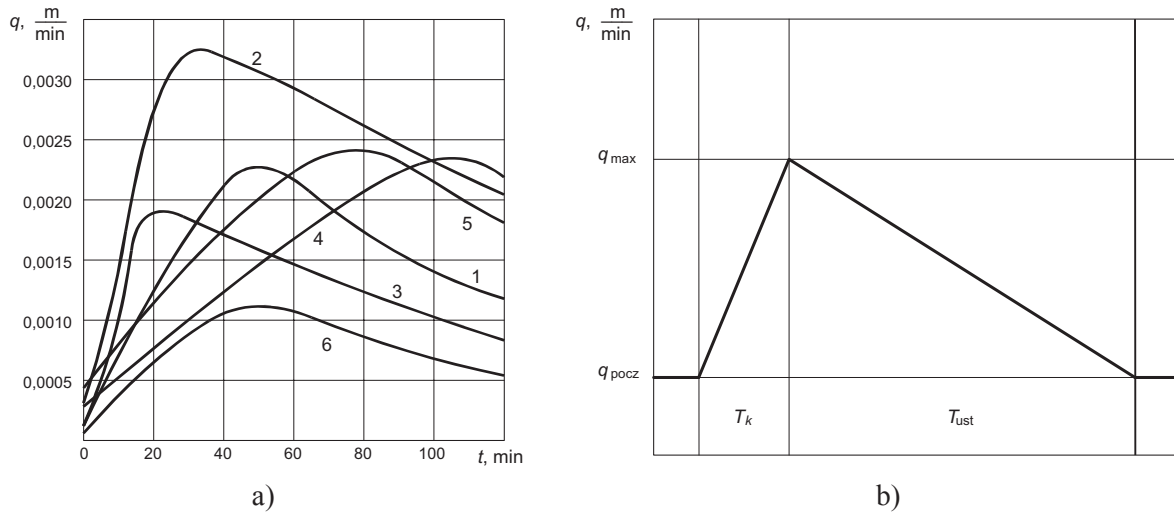
### 3. Dopływ metanu z urabianej calizny i odstawanego urobku z uwzględnieniem kierunku przepływu powietrza i ruchu kombajnu

W pracach [2] i [6] przedstawiono koncepcję działania prototypowego komputerowego programu VentMet umożliwiającego prognozowanie zagrożenia metanowego z równoczesną obserwacją rozkładów stężenia metanu przez system monitoringu kopalni. Przedstawiono modele matematyczne opisujące przepływ powietrza i metanu w wyrobisku oraz zrobach z uwzględnieniem różnych źródeł dopływu metanu. Połączenie przedstawionych modeli źródeł emisji metanu pozwoliło na pełniejszy opis zjawisk. Szczególne znaczenie ma wartość strumienia dopływu metanu z urabianej calizny, zrobów oraz z pokładów węgla leżących poniżej i powyżej pokładu eksploatowanego.

Procesowi urabiania calizny węglowej kombajnem ścianowym towarzyszy zmienny w czasie rozkład emisji metanu z urabianej calizny i z odstawanego urobku. W artykule [2] przedstawiono model matematyczny emisji metanu z urabianej calizny oraz z urobku na taśmociągu, stanowiący rozwinięcie modelu matematycznego emisji metanu z calizny urabianej kombajnem, podanego przez Tarasowa i Kołmakowa [15] oraz modelu matematycznego emisji metanu z urobku na taśmociągu, podanego przez Drzęźlę i Badurę [10]. Modele te opisane zostały szczegółowo w artykule [5]. Model emisji metanu z calizny węglowej urabianej kombajnem ścianowym został utworzony przez przybliżenie przebiegiem trójkątnym (rys. 7b) zmierzonych przebiegów emisji metanu [15] i przedstawionych jako strumień objętości metanu z jednego metra kwadratowego powierzchni urabianej calizny w funkcji czasu (rys. 7a). Model emisji metanu z urobku na przenośnikach wykorzystuje model emisji metanu z pokruszonego węgla [5], rozszerzony w oparciu o wyniki prac Airuniego [1], Klebanowa [11] i Kozłowskiego [12]. Na podstawie przytoczonych modeli, dla potrzeb programu *VentMet* wyprowadzono związki, opisujące emisję metanu dla danego czasu i danej odległości od początku ściany dla metanu z calizny, dla metanu z urobku na przenośniku ścianowym oraz dla metanu z urobku na przenośniku w chodniku transportowym. Przedstawiony model był szczególnym przypadkiem, w którym odstawa urobku odbywała się w świeżym prądzie powietrza, a kombajn poruszał się zgodnie z kierunkiem przepływu powietrza w ścianie.

Obecnie na potrzeby niniejszej pracy uogólniono przedstawiony model o możliwość wyznaczanie emisji metanu z urobku na przenośniku ścianowym oraz na przenośniku w chodniku transportowym dla odstawy odbywającej się w ścianie zgodnie z kierunkiem przepływu powietrza, a w chodniku transportowym doświetlającym wylot ze ściany pod prąd świeżego powietrza..

Przebieg trójkątny, pokazany na Rys. 7b charakteryzuje się następującymi parametrami: początkowy  $q_{pocz}$  i maksymalny  $q_{max}$  strumień objętości metanu z jednostki powierzchni calizny ściany, czas urabiania strefy spękań przed kombajnem  $T_k$  i czas ustalania się emisji metanu po odsłonięciu nowej powierzchni calizny  $T_{ust}$ .



Rys. 7. Przebiegi prędkości emisji metanu w strefie oddziaływania kombajnu:  
a – zmierzone dla różnych pokładów węgla wg [14]  
b – przybliżenie rzeczywistego przebiegu prędkości emisji metanu

Dalej przyjęto następujące założenia:

- 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  $v_k$ , stąd czas urabiania ściany  $T_u = L_s/v_k$  i czas urabiania strefy spękań  $T_k = L_k/v_k$ .
- Urabiany węgiel transportowany jest przenośnikiem ścianowym z prędkością  $v_s$  w kierunku zgodnym z kierunkiem ruchu roboczego kombajnu.
- Dalej urobek unoszony jest przenośnikiem w chodniku transportowym z prędkością  $v_t$ .

Wykorzystując cykliczność pracy kombajnu wprowadzono czas względny, liczony zawsze w każdym cyklu od początku:  $t_w = t - t_s - (n - 1)T_c$ , gdzie  $t_s = x/v_k$  jest to czas, po jakim kombajn dotrze do punktu odległego o  $x$  od początku ściany a  $n$  jest numerem kolejnym cyklu. Przyjmując, że wysokość urabianego pokładu jest równa  $H$ , strumień objętości metanu z jednostki długości ściany wynosi:

$$Q_{ms}(x, t) = Hq(t_w) \quad (3.1)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} q(t_w) &= q_{pocz} & \text{dla} & \quad t_w < -T_k \\ q(t_w) &= q_{pocz} + \frac{q_{max} - q_{pocz}}{T_k} (t_w + T_k) & \text{dla} & \quad -T_k \leq t_w \leq 0 \\ q(t_w) &= q_{max} - \frac{q_{max} - q_{pocz}}{T_{ust}} t_w & \text{dla} & \quad 0 \leq t_w \leq T_{ust} \\ q(t_w) &= q_{pocz} & \text{dla} & \quad t_w > T_{ust} \end{aligned}$$

Do strumienia powietrza w ścianie dopływa jeszcze metan z urobionego węgla odstawianego przenośnikami. W artykule [4] przedstawiono model odgazowania urobku na przenośniku, wykorzystujący opisany w artykule [6] model odgazowania pokruszonego węgla oparty na pracy Airuni'ego [1] i wykorzystujący dane zamieszczone w pracy Klebanowa [11] oraz Kozłowskiego [12].

A.T. Airuni rozpatruje zjawisko wydzielania się gazu z węgla jako wielostopniowy proces dyfuzji sorbowanego gazu z jednostki masy węgla i jego transport kanałami różnych typów, istniejącymi w okruchu węgla. Objętość wydzielonego gazu z jednostki masy węgla w funkcji czasu  $t$  wyraża się wówczas wzorem:

$$V_g = \sum_{i=0}^3 V_i \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_i}} \right) \quad (3.2)$$

gdzie:

- $V_g$  – całkowita objętość desorbowanego gazu do chwili  $t$ ;
- $V_0, \tau_0$  – objętość desorbowanego gazu i stała czasowa desorpcji z objętości cząstek sorpcyjnych;
- $V_1, \tau_1$  – objętość sorbowanego gazu i stała czasowa desorpcji dla gazu zgromadzonego na powierzchni cząstek sorpcyjnych;
- $V_2, \tau_2$  – objętość sorbowanego gazu i stała czasowa desorpcji dla cząstek supersorpcyjnych;
- $V_3, \tau_3$  – objętość sorbowanego gazu i stała czasowa desorpcji dla cząstek filtracyjno-sorpcyjnych;

przy czym:  $\tau_0 > \tau_1 > \tau_2 > \tau_3$ .

Strumień objętości desorpcji metanu z jednostki masy pokruszonego węgla opisuje wzór :

$$G_g = \frac{dV_g}{dt} = \sum_{i=0}^3 G_i e^{-\frac{t}{\tau_i}} \quad \text{gdzie: } G_i = \frac{V_i}{\tau_i} \quad (3.3)$$

Uwzględniając, że gęstość liniowa urobku na przenośniku ścianowym wynosi:

$$g_{ps} = \rho_w z H \frac{v_k}{v_s - v_k} \quad (3.4)$$

a gęstość liniowa urobku na przenośniku w chodniku transportowym jest równa:

$$g_{pt} = \rho_w z H \frac{v_k v_s}{v_i (v_s - v_k)} \quad (3.5)$$

gdzie:

- $\rho_w$  – gęstość urabianego węgla,
- $z$  – zabiór kombajnu,
- $H$  – wysokość zabioru,
- $v_k$  – prędkość ruchu kombajnu,
- $v_s$  – prędkość przenośnika ścianowego,
- $v_i$  – prędkość przenośnika w chodniku odstawczym,

można z zależności (3.3) obliczyć strumień masy metanu z jednostki długości urobku na przenośniku:

$$Q_{mp} = \frac{g_p}{\rho_m} \sum_{i=0}^3 G_i e^{-\frac{t}{\tau_i}} \quad (3.6)$$

gdzie:

- $g_p$  – gęstość liniowa węgla na przenośniku ( $g_p = g_{ps}$  dla przenośnika ścianowego,  $g_p = g_{pt}$  dla przenośnika w chodniku odstawczym),
- $\rho_m$  – gęstość metanu.

Stala czasowa  $\tau_0$  jest rzędu wielu dób,  $\tau_1$  jest rzędu godzin,  $\tau_2$  jest rzędu dziesiątek minut, a  $\tau_3$  jest rzędu minut. Zarówno stałe czasowe  $\tau_i$  jak i objętości gazu  $V_i$  są różne dla różnych stopni rozdrobnienia węgla. Airuni podaje eksperymentalnie wyznaczone wartości powyższych stałych czasowych dla kilku frakcji rozdrobnienia węgla w przedziale od 0.075 do 4 mm. Wyznaczone wartości  $\tau_1$  mieszczą się w granicach od 2 h do 3 h, wartości  $\tau_2$  od 20 do 23 minut, a wartości  $\tau_3$  od 2.3 do 2.5 minut.

Dla objętości gazu  $V_i$  wyznaczone wartości wynoszą:

- dla  $V_1$  od 2.8 do 4.35 ml/g,
- dla  $V_2$  od 1.4 do 3 ml/g,
- dla  $V_3$  od 0.5 do 1.65 ml/g,

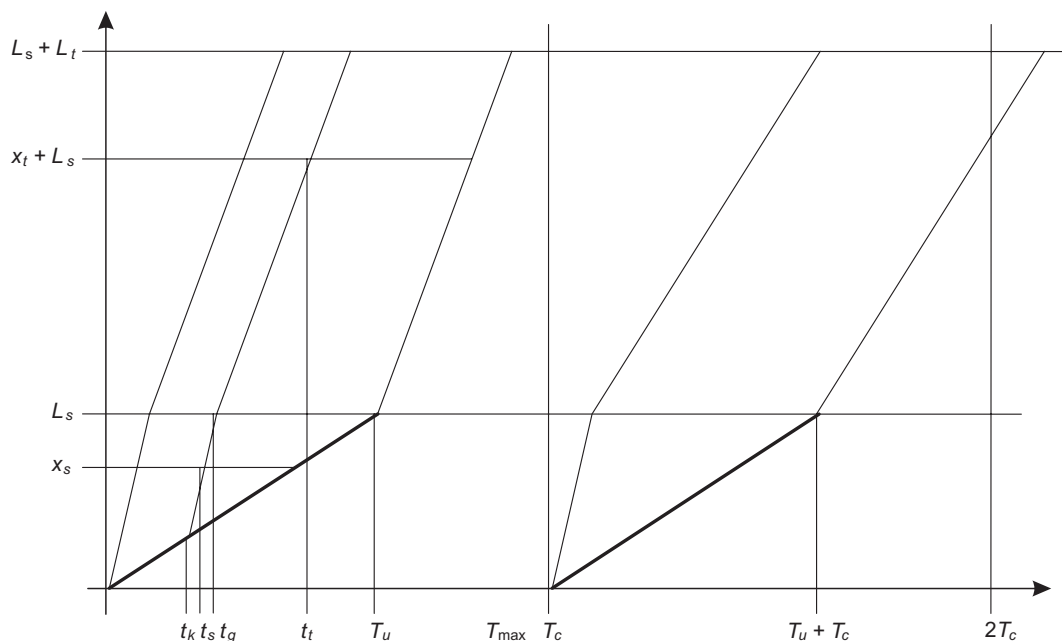
Stale czasowe zmniejszają się prędkości wydzielania gazu dla frakcji 0.25÷0.5 mm i 15÷20 mm w przedziale czasu od dziesiątej do setnej minuty, obliczone na podstawie danych zamieszczonych w [11] wynoszą odpowiednio 71.5 min i 66.5 min, natomiast aproksymowane początkowe prędkości wydzielania się gazu wynoszą około 0.012 ml/g·min dla frakcji drobniejszej i 0.004 ml/g·min dla frakcji większej.

Dla wyznaczenia wartości stałej czasowej  $\tau_o$  i objętości gazu  $V_o$  wykorzystano w pracy [5] wyniki badań szybkości wydzielania się metanu z urobku przeprowadzonych przez Cybulskiego i Sobalę i zamieszczonych przez Kozłowskiego [12] otrzymując:

$$G_o = \frac{V_o}{\tau_o} \approx 0.25 \frac{\text{ml}}{\text{g} \cdot \text{doba}} \quad \text{i} \quad \tau_o \approx 108 \text{ dób}$$

$$\text{Stąd } V_o \approx 27 \frac{\text{ml}}{\text{g}}$$

Czas przebywania elementu urobku o jednostkowej długości na przenośniku ścianowym, liczony od momentu urobienia, znajdujący się w odległości  $x_s$  od początku ściany i w chwili  $t_s$ , a na przenośniku w chodniku transportowym w odległości  $x_t$  od początku przenośnika i w chwili  $t_t$ , można wyznaczyć z niżej zamieszczonego rysunku 8.



Rys. 8. Wyznaczanie czasów przebywania urobku na przenośniku ścianowym i przenośniku w chodniku transportowym: a)  $T_{\max} \leq T_c$ , b)  $T_{\max} > T_c$

Linia pogrubiona przedstawia ruch kombajnu  $x = v_k t_w$ , gdzie:

$v_k$  – prędkość kombajnu,

$t_w$  – czas liczony od początku każdego cyklu  $t_w = t - (n - 1)T_c$ ,

$n$  – numer kolejnego cyklu,

$T_c$  – czas trwania cyklu pracy kombajnu

$L_s$  – długość ściany,

$L_t$  – długość przenośnika w chodniku transportowym,

$x_s$  – położenie rozpatrywanego elementu urobku na przenośniku ścianowym w chwili  $t_s$ ,

$x_t$  – położenie elementu urobku na przenośniku w chodniku transportowym w chwili  $t_t$ ,

Z rysunku 8 wynikają następujące zależności:

- Dla  $t_{gr1} \leq t_w \leq t_{gr2}$  czas przebywania na przenośniku ścianowym elementu urobku znajdującego się w odległości  $x_s$  od początku ściany i w chwili  $t_w$  jest równy:

$$t_{ps} = \frac{x_s - v_k t_w}{v_s - v_k} \quad (3.7)$$

i strumień masy metanu  $Q_{ms}$  z jednostki długości urobku na przenośniku ścianowym w odległości  $x_s$  od początku ściany i w chwili  $t_w$  jest równy:

$$Q_{mps} = \frac{g_{ps}}{\rho_m} \sum_{i=0}^3 G_i e^{-\frac{t_{ps}}{\tau_i}} \quad (3.8)$$

przy czym  $t_{gr1} = \frac{x_s}{v_s}$  i  $t_{gr2} = \frac{x_s}{v_k}$ .

- Dla  $t_w < t_{gr1}$  lub  $t_w > t_{gr2}$  jest  $Q_{mps} = 0$ .
- Dla  $t_{gr3} \leq t_w \leq t_{gr4}$  czas przebywania na przenośniku w chodniku odstawczym elementu urobku znajdującego się w odległości  $x_t$  od ściany i w chwili  $t_w$  jest równy:

$$t_{pt} = \frac{L_s + \frac{v_s}{v_t} x_t - v_k t_w}{v_s - v_k} \quad (3.9)$$

i strumień masy metanu  $Q_{mt}$  z jednostki długości urobku na przenośniku w chodniku transportowym w odległości  $x_t$  od skrzyżowania ze ścianą i w chwili  $t_w$  jest równy:

$$Q_{mpt} = \frac{g_{pt}}{\rho_m} \sum_{i=0}^3 G_i e^{-\frac{t_{pt}}{\tau_i}} \quad (3.10)$$

przy czym  $t_{gr3} = \frac{x_t}{v_t} + \frac{L_s}{v_s}$  i  $t_{gr4} = \frac{x_t}{v_t} + \frac{L_s}{v_k}$ .

- Dla  $t_w < t_{gr3}$  lub  $t_w > t_{gr4}$  jest  $Q_{mpt} = 0$ .

Jeżeli czas transportu do punktu  $x_t$  urobku na przenośniku w chodniku odstawczym jest większy niż czas powrotu i postoju  $T_p$ , to w chwili, gdy zwiększa się obliczany numer kolejny cyklu pracy kombajnu, należy zwiększyć czas względny, liczony zawsze od początku cyklu, o czas trwania cyklu:

$$t_{nw} = t_w + T_c \quad (3.11)$$

Całkowity strumień masy metanu dopływający do strumienia powietrza w odległości  $x_t$  od początku ściany i w chwili  $t_w$  jest sumą strumieni masy metanu dopływającego z calizny i z urobku na przenośniku:

$$Q_{md} = Q_{ms} + Q_{mps} \quad (3.12)$$

Wprowadzając wyżej podane zależności do programu *VentMet* otrzymuje się numeryczny model propagacji stężenia metanu w wyrobisku ścianowym z pracującym kombajnem, w chodniku odstawczym z przenośnikiem i w pozostałych wyrobiskach rejonu wentylacyjnego.

#### 4. Rejon ściany B-5 pokład 358/1 KWK Budryk – walidacja modelu matematycznego

Walidacja modelu matematycznego przewietrzania kopalni stosowanego w programie *VentMet* wymaga porównania zarejestrowanych przebiegów stężenia metanu mierzonych przez przyrządy pomiarowe systemu monitoringu z odpowiadającymi im przebiegami wielkości otrzymanych na drodze obliczeń numerycznych. Do oceny zastosowano miarę odległości danych z prognozy i danych z monitoringu w postaci sumy kwadratów różnic wartości zmierzonych i prognozowanych. W pracy [7] przedstawiono szczegóły zastosowanej metody, którą obecnie zmodyfikowano poprzez unormowanie do aktualnej wartości mierzonej przez czujnik systemu monitoringu.

W przypadku, gdy prognoza dotyczy stanu nieustalonego wentylacji, miara musi obejmować wybrany okres czasu  $T$ . Poniżej przedstawiono miarę dla przebiegów strumieni objętości powietrza i stężeń metanu w monitorowanych punktach sieci wentylacyjnej kopalni:

$$S = \frac{1}{T} \left[ \int_0^T \sum_{n=1}^N w_n (q_n - q_{pn})^2 dt + \int_0^T \sum_{m=1}^M w_m (C_m - C_{pm})^2 dt \right] \quad (4.1)$$

gdzie:

- $N$  – ilość mierników strumienia objętości powietrza w monitorowanym rejonie,
- $q_n$  – prognozowany przebieg strumienia objętości powietrza dla miernika nr  $n$ ,
- $q_{pn}$  – przebieg strumienia objętości powietrza mierzony przez miernik nr  $n$ ,
- $w_n$  – waga przypisana do miernika strumienia objętości nr  $n$ ,
- $M$  – ilość mierników stężenia metanu w monitorowanym rejonie,
- $C_m$  – prognozowany przebieg stężenia metanu dla miernika nr  $m$ ,
- $C_{pm}$  – przebieg stężenia metanu mierzony przez miernik nr  $m$ ,
- $w_m$  – waga przypisana do miernika stężenia metanu nr  $m$ ,
- $T$  – okres czasu objęty miarą.

Przekształcając wzór (4.1) zgodnie z założeniami jak pokazano w pracy [7] uzyskano następującą zależność:

$$S_m = \frac{w_m}{I} \sum_{i=0}^{I-1} \left( c_{1i} + \frac{1}{2} c_{2i} + \frac{1}{3} c_{3i} \right) \quad (4.2)$$

gdzie  $t_i = i\Delta t$ ,  $t_{i+1} = (i+1)\Delta t$ ,  $T = I\Delta t$       $j = ki$   
oraz:

$$\begin{aligned} c_{1i} &= (C_{m,j} - C_{pm,i})^2 \\ c_{2i} &= 2(C_{m,j} - C_{pm,i})(C_{m,j+k} - C_{m,i} - C_{pm,i+1} + C_{pm,i}) \\ c_{3i} &= (C_{m,j+k} - C_{m,i} - C_{pm,i+1} + C_{pm,i})^2 \end{aligned} \quad (4.3)$$

W dalszym ciągu znormowano miarę daną wzorem (4.2) poprzez odniesienie w kolejnych krokach czasowych do wartości sumy kwadratów aktualnego stężenia danego (m) czujnika:

$$S_m = \frac{w_m}{I} \sum_{i=0}^{I-1} \frac{\left( c_{1i} + \frac{1}{2} c_{2i} + \frac{1}{3} c_{3i} \right)}{\left( \frac{C_{m,i} + C_{m,i+1}}{2} \right)^2} \quad (4.4)$$

Przedstawiony wzór (4.4) znalazł zastosowanie w programie komputerowym dla wyznaczenia miary oceny postępowania walidacyjnego.

#### 4.1. Przygotowanie modelu numerycznego rejonu ściany

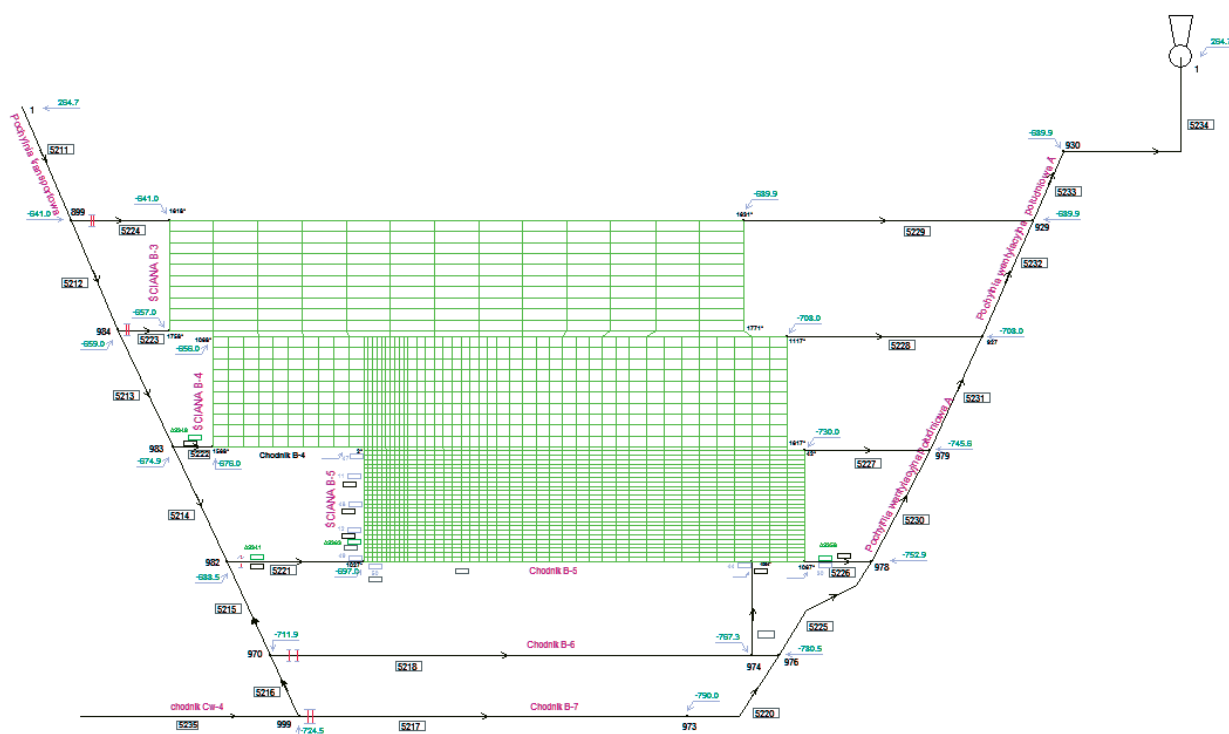
Rozważmy rejon sieci wentylacyjnej kopalni „Budryk” złożony z wyrobisk eksploatowanej ściany B-5 oraz zlikwidowanych ścian B-3 i B-4, a także ich zrobów. Przygotowanie danych poprzedzone zostało zebraniem syntetycznej informacji w zakresie stanu wentylacji oraz zagrożenia metanowego w dniu eksperymentu. Dla przygotowania danych początkowych do badań modelowych uzyskano z działu wentylacji kopalni obszerną informację dotyczącą rejonu tj.:

- wyniki pomiarów wentylacyjnych wykonanych przez kopalnię, w tym schemat potencjalny rejonu,
- komputerowy opis parametryczny sieci wentylacyjnej w standardzie danych systemu programów komputerowych **Ventgraph** dla stanu jej struktury i regulacji przewietrzania rejonu w okresie prowadzonego eksperymentu,

- dane projektowe o rejonie eksploatacji, profile chodników,
- mapy pokładowe, profile geologiczne,
- wyniki pomiarów przez czujniki prędkości i stężenia metanu systemu monitoringu z okresu poprzedzającego eksperyment w ścianie B-5

Przygotowanie bazy danych niezbędnych do obliczeń poprzedziła szczegółowa analiza uzyskanych materiałów z kopalni Budryk. Ustalono strukturę sieci wyrobisk oraz zrobów tak aby wiernie oddawała rzeczywisty układ. Tym samym powstała złożona struktura połączeń pozwalająca na przeprowadzenie obliczeń różnego oddziaływania na badany układ. Dane charakteryzujące przepływ mieszaniny powietrza i metanu w wyrobiskach przyjęto na podstawie rzeczywistych danych dla sieci wyrobisk kopalni.

Inną procedurę zastosowano dla wyznaczenia danych charakteryzujących przepływ w zrobach. W tym przypadku wykorzystano model teoretyczny rozkładu przepuszczalności i kształtowania się wysokości zrobów [4] oraz informacje jakie wynikają z analizy mapy pokładowej, profili geologicznych, projektu eksploatacji ściany (geometria wyrobisk, koty niwelacyjne, grubość pokładu eksploatowanego, rodzaj skał stropowych). Korzystając z powyżej wymienionych danych wyznaczono parametry charakteryzujące obszar zgodnie z wymogami zastosowanego modelu matematycznego. Mając przygotowany zbiór danych dotyczących zrobów, wprowadzono dane charakteryzujące wyrobiska rozważanego rejonu sieci wentylacyjnej. Wprowadzenie struktury wyrobisk rejonu oraz danych o zrobach pozwoliło na wykonanie rysunku schematu przestrzennego rozpatrywanego rejonu sieci wentylacyjnej przedstawionego na rysunku 9.



Rys. 9. Schemat przestrzenny rejonu ściany B-5 pokład 358/1

Reasumując, dla realizacji badań przygotowano komplet danych niezbędnych dla obliczeń wartości rozplywów powietrza, rozkładów stężenia metanu w wyrobiskach i zrobach. Należy podkreślić, że przyjęta struktura połączeń oraz uwzględnienie rozległych zrobów spowodowało dobre odwzorowanie rzeczywistej sytuacji, ale spowodowało utworzenie bazy danych złożonej z 5236 bocznicy, co znacznie wydłuża czas obliczeń podczas prowadzenia symulacji ale należy się spodziewać poprawy jakości obliczeń, co w procesie walidacji jest czynnikiem istotnym.

W ścianie B-5 pokład 358/1 porusza się kombajn, który urabia węgiel odstawiając powierzchnię, z której desorbuje metan. Odstawa urobku w ścianie odbywa się zgodnie z kierunkiem przepływu powietrza,

a odstawa w chodniku B-5 odbywa się pod prąd i dalej pochylnią transportową do szybu VI. Parametry pracy kombajnu oraz dane dotyczące gazodynamiki eksploатовanego pokładu przedstawiono w rozdziale 4.3.

## 4.2. Wstępne symulacje – dobór parametrów modelu w zakresie rozplywu mieszaniny powietrza i metanu

Przystępując do właściwych obliczeń należy w pierwszej kolejności wyznaczyć początkowy stan przepływu mieszaniny powietrza i metanu zarówno w wyrobiskach przyścianowych jak i w zrobach. W tym celu wykorzystano dane z rejestracji w systemie monitoringu zarówno przez czujniki stężenia metanu jak i anemometry stacjonarne. Ponadto skorzystano z wyników pomiarów wyznaczenia strumienia objętości wykonanego w chodniku B-4, specjalistyczną aparaturą [14], która umożliwiła walidację przepływu powietrza dopływającego do ściany B-5. Rejestracje zmian stężenia metanu przed i w trakcie urabiania kombajnem w ścianie B-5, pozwoliły wyznaczyć wydatek objętościowy metanu zawarty w przepływającym powietrzu w ścianie, w chodniku B-5 oraz w zrobach. W tabeli 3 pokazano zmierzone stężenia metanu oraz wyznaczone wartości wydatku przepływu powietrza i wydatku metanu w przekroju każdego czujnika. Analiza danych w tabeli 3 pozwoliła na wyznaczenie dopływu metanu w rejonie ściany B-5 oraz do zrobów ścian zlikwidowanych B-3 i B-4 pokład 358/1. Wyznaczone dane przyjęto do dalszych obliczeń prognostycznych. W ścianie B-5 prowadzone było odmetanowanie, którego efektywność wynosi 66%.

Tab. 3.

czas pomiaru	Czujniki metanu								Uwagi
	MM 47	MM 11	MM 48	MM 12	MM 49	MM 50	MM 44	MM 30	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
8:17	0,2	0,4	0,8	1,2	1,5	0,9	1,2	1,2	
8:37	0,2	0,7	0,9	1,3	1,8	1,1	1,6	1,6	
12:00	0,2	0,4	0,6	0,8	1,2	0,6	1,1	1,1	
Wydatek powietrza	1046	992	969	953	929	2068	2252	2588	m <sup>3</sup> /min
Wydatek metanu m <sup>3</sup> /min	2,1	3,96	7,75	11,43	13,93	18,61	27,02	31,05	8:17
	2,1	6,94	8,72	12,38	16,72	22,74	36,03	41,40	8:37
	2,1	3,96	5,81	7,62	11,14	12,40	24,77	28,46	12:00

Tab. 4

Ściana B-5 dopływ metanu [m <sup>3</sup> /min]		Ściana B-4 dopływ metanu [m <sup>3</sup> /min]		Ściana B-3 dopływ metanu [m <sup>3</sup> /min]			
wlot do ściany	z calizny	Z odstawy		zrobry		zrobry	zrobry
		ściana	chodnik B-5	chodnik B-5	odmet.		
2,1	11,9	2,79	6,22	13,93	21,30	3,0	2,0

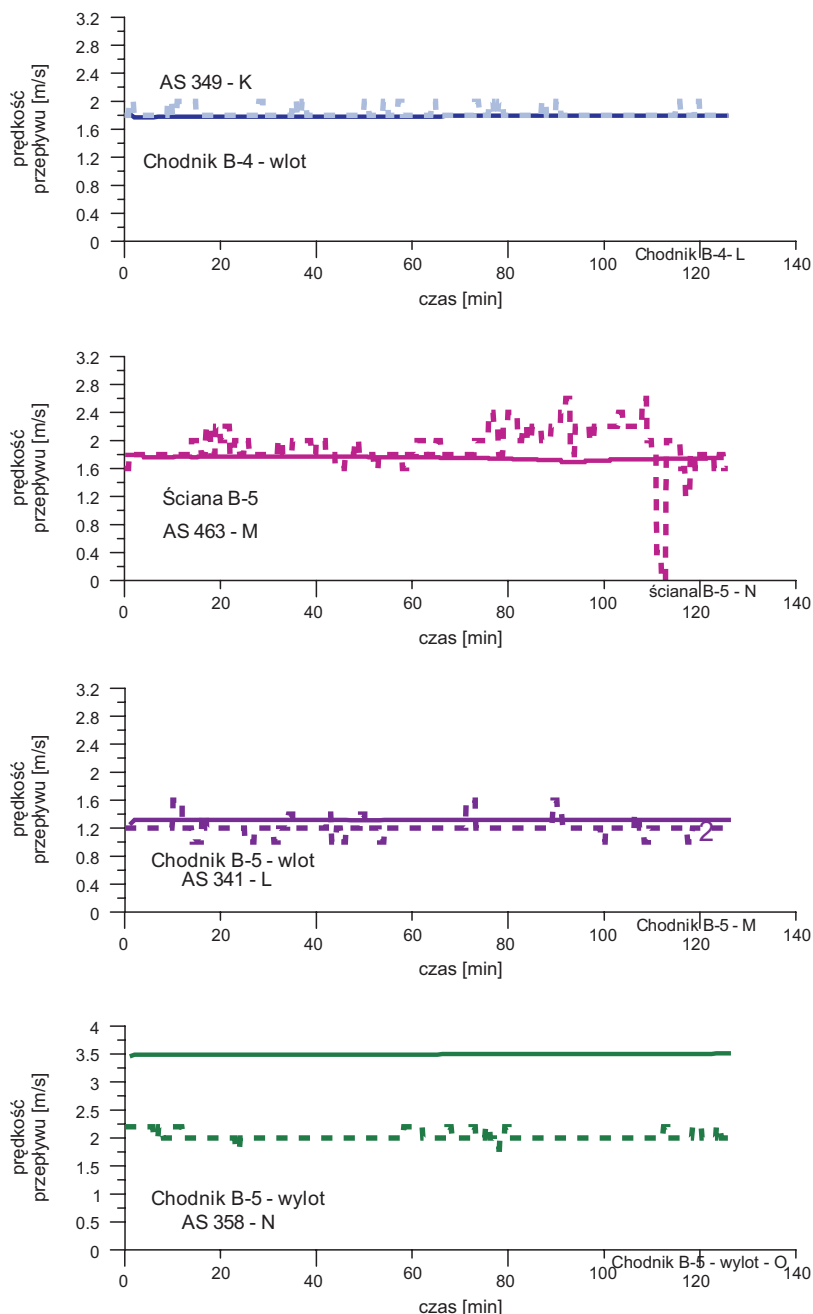
Przedstawione na rysunku 10 przebiegi prędkości przepływu powietrza uzyskane podczas symulacji oraz zarejestrowane przez stacjonarne anemometry wskazują na dobrą zgodność w odwzorowaniu w modelu rzeczywistych wartości przepływu powietrza mierzonych w czasie eksperymentu pomiarowego obejmującego okres urabiania kombajnem w ścianie B-5.

Na rysunku 11 przedstawiono rozkład stężenia metanu w zrobach ściany B-5 oraz w zrobach wcześniej eksploатовanych ścian B-3 i B-4, który uzyskano z obliczeń dla stanu ustalonego rozplywu mieszaniny powietrza i metanu przed rozpoczęciem urabiania ściany przez kombajn. W obliczeniach rozkładu metanu w zrobach przyjęto, że dopływ metanu jest równomiernie rozłożony po powierzchni zrobów.

## 4.3. Walidacja parametrów modelu pracy kombajnu i odstawy urobku

Rozważany przykład miał pokazać dobór parametrów modelu kombajnu podczas jego urabiania w ścianie B-5. Obserwacja zmian stężenia metanu w ścianie uzyskana z komputerowych obliczeń w odniesieniu do zarejestrowanych przebiegów przez osiem czujników metanu systemu monitoringu był podstawą do wyznaczenia miary jakości doboru parametrów modelu. Rozmieszczenie czujników wirtualnego systemu



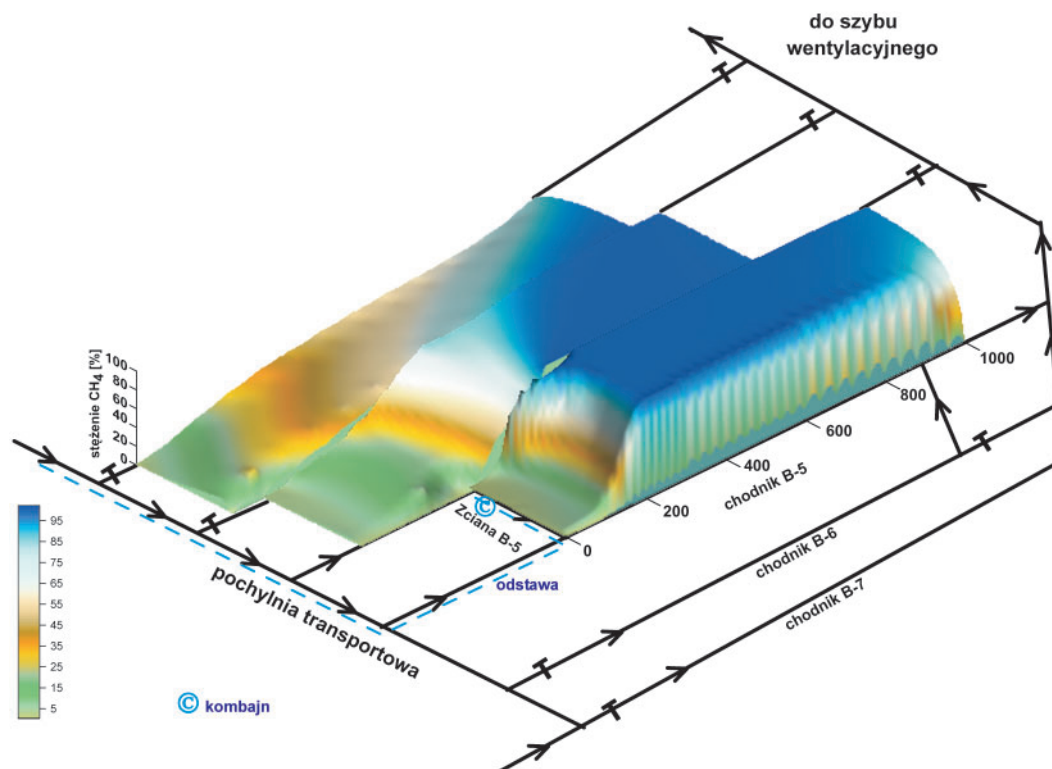


Rys. 10. Prędkość przepływu powietrza w wyrobiskach rejonu ściany B-5  
 • linia ciągła – symulacja; • linia przerywana – monitoring

monitoringu wzdłuż ściany B-5 i w chodniku B-5 był identyczny jak podczas eksperymentu, a miejsce ich lokalizacji pokazano w tabeli 2 oraz na rysunku 2.

Celem badań była taka zmiana wybranych parametrów modelu, aby minimalizować miarę odległości szeregowych czasowych reprezentujących przebiegi stężeń metanu zmierzone i otrzymane na drodze modelowania numerycznego. W związku z powyższym przyjęto następującą procedurę realizacji celu badań:

1. Wyznaczenie stanu początkowego rozplywu mieszaniny powietrza i metanu dla wyznaczonych wartości wydatku dopływu metanu odpowiadającemu chwili rozpoczęcia urabiania przez kombajn (godzina 8:17 w dniu 13.07.2006). Obliczenie stanu ustalonego przedstawiono w pkt. 4.2.
2. Wykonanie obliczeń prognozowanych przebiegów stężenia metanu dla wstępnie dobranych parametrów przyjętego modelu. W tabeli 5 przedstawiono widok okna dialogowego programu VenMet, który pozwala na wprowadzanie zmian w parametrach modelu.



Rys. 11. Przestrzenny rozkład stężenia metanu w zrobach ściany B-5:  
– równomierny dopływ metanu do zrobów, – stan początkowy – kombajn nie pracuje

3. W trakcie obliczeń w pętli czasowej, program zapisuje uzyskane wyniki w postaci zbioru danych przydatnego do sporządzenia wykresów zmian stężenia metanu.
4. Następnie dla każdego czujnika stężenia metanu obliczono miarę odległości wg wzoru (4.4). Obliczono również sumy tych miar dla 8 czujników w całym okresie obliczeń.
5. Analiza uzyskanego rozwiązania i obserwacja przebiegów zmian stężenia metanu w stosunku do zarejestrowanych podczas eksperymentu, daje to asumpt do dokonania zmian w parametrach modelu opisującego urabianie kombajnem.
6. Po zmianie wybranych parametrów modelu wykonano powtórne obliczenia zgodnie z czynnościami opisanymi powyżej.

W ścianie B-5 porusza się kombajn, który powoduje, że podczas urabiania metan dopływa zarówno z calizny węglowej oraz z transportowanego węgla. Odstawa przenośnikiem ścianowym odbywa się zgodnie z kierunkiem przepływu powietrza. Urobek kierowany jest do skrzyżowania z chodnikiem B-5, a dalej jest transportowany tym chodnikiem pod prąd świeżego powietrza do pochylni transportowej. Rozważa się przypadek jednego skrawu urabiania kombajnem, który porusza się zgodnie z kierunkiem przepływu powietrza i w warunkach eksperymentu wynosił 126 minut.

Parametry pracy kombajnu wynikające z przyjętego modelu matematycznego oraz dane dotyczące gazodynamiki eksploатовanego pokładu przedstawiono w tabeli 5.

Przedstawione powyżej dane można podzielić na dwie grupy. Pierwszą, która zawiera parametry charakterystyki ściany, do której należy zaliczyć: lokalny opór aerodynamiczny jaki wynika z gabarytów kombajnu, wysokość ściany, gęstość węgla, wielkość zabioru kombajnu, prędkość urabiania kombajnu, prędkość transportu urobku na przenośniku ścianowym i przenośniku taśmowym w chodniku B-5. Ponadto z uwagi na fakt, że rozpatruje się tylko jeden skraw urabiania kombajnem przyjmuje się stałą długość strefy oddziaływania kombajnu (strefa emisji metanu) i czas ustalania się emisji metanu.

Drugą grupę danych dobieranych podczas kolejnych symulacji stanowią:

- początkowa prędkość wydzielania metanu,
- największa prędkość wydzielania metanu,

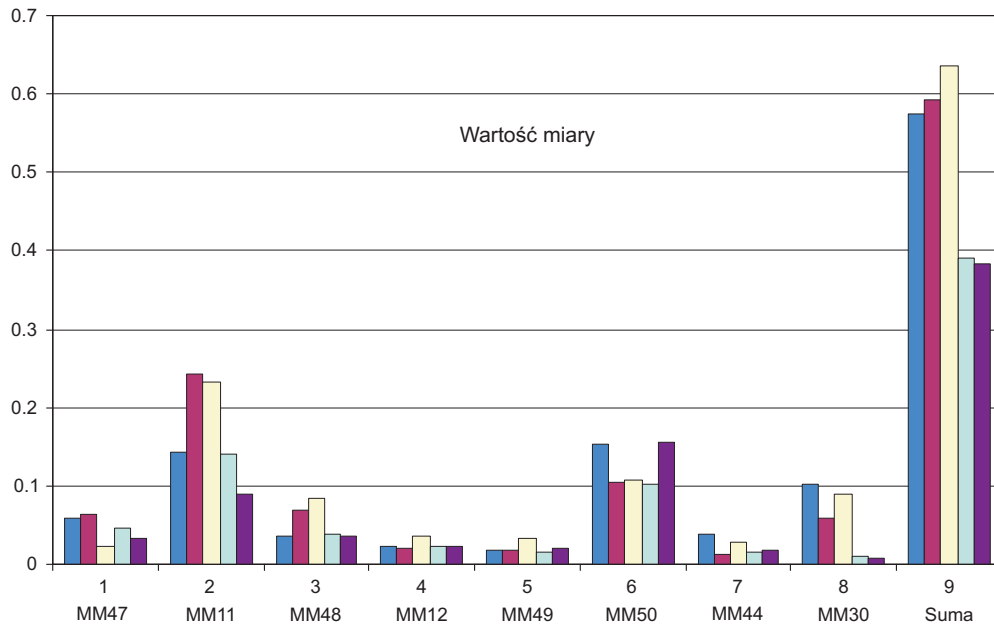
Tab. 5

Parametry dla kombajnu i przenośnika transport...	
Wysokość zabioru [m]	2.4
Długość strefy oddziaływania kombajnu [m]	8.0
Prędkość kombajnu [m/s]	0.033
Czas postoju i powrotu kombajnu [s]	5400
Czas ustalania się emisji metanu [s]	7800
Prędkość przenośnika ścianowego [m/s]	1.1
Prędkość przenośnika w chodniku transportowym [m/s]	1.1
Zabior kombajnu [m]	0.8
Gęstość węgla [kg/m <sup>3</sup> ]	1300.0
Początkowa prędkość wydzielania się metanu [m/s]	3.0E-0004
Największa prędkość wydzielania się metanu [m/s]	5.0E-0006
Współczynnik dla kombajnu	0.00500
Opór przed kombajnem [kg/m <sup>7</sup> ]	0.200
Parametr dod. dla Pśc.	0.1
Parametr dod. dla Tśm	0.4

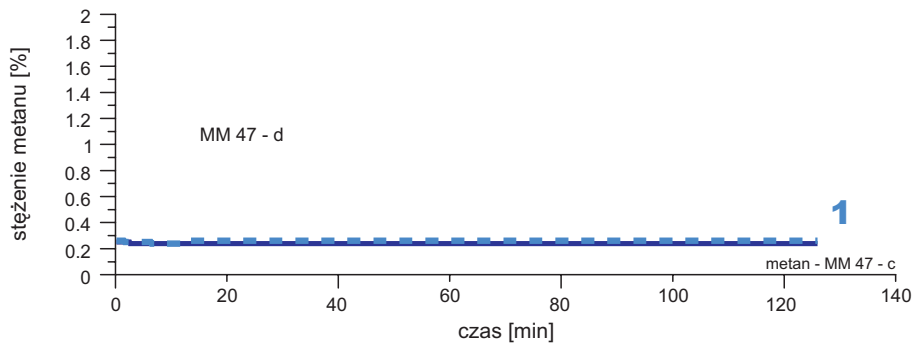
- stałe Pśc i Tśm, zależne od własności sorpcyjnych węgla, od stopnia rozdrobnienia urobku i od średniej zawartości początkowej metanu w urobionym węglu, m<sup>3</sup>/t. Z uwagi na brak danych eksperymentalnych wymienione parametry ujęto w postaci dwu współczynników, osobno dla węgla znajdującego się na przenośniku ścianowym (Pśc – patrz tabela 5) oraz dla przenośnika taśmowego (Tśm).

Na rysunku 12 przedstawiono zmiany wartości miary odległości dla pięciu symulacji różniących się wymienionymi powyżej parametrami. Na osi poziomej rys. 12 znajdują się kolejne czujniki stężenia metanu, a na osi pionowej jest miara odległości przebiegów stężenia metanu. Ostatnia kolumna – 9 jest sumą miar poszczególnych czujników.

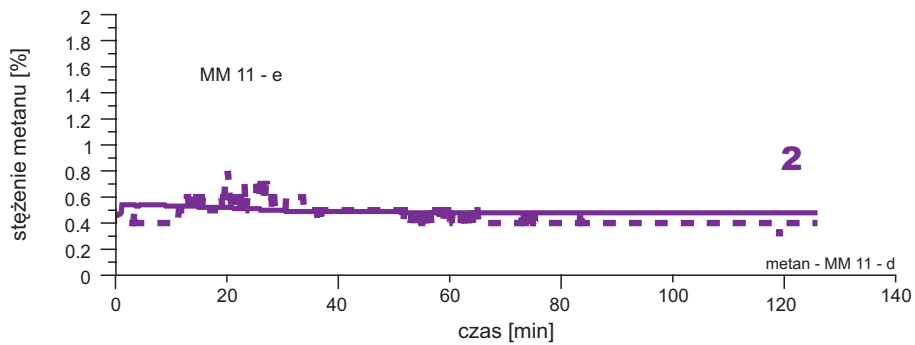
Na kolejnych rysunkach od nr 13 do 20 pokazano prognozowane (linia ciągła) i zarejestrowane przez czujniki systemu monitoringu (linia przerywana) przebiegi stężenia metanu, przy czym przebiegi prognozowane pokazano dla symulacji, która ma najmniejszą wartość miary (rys. 12). Można uznać, że prezentowany przebieg ma najlepiej dobrane parametry modelu matematycznego.



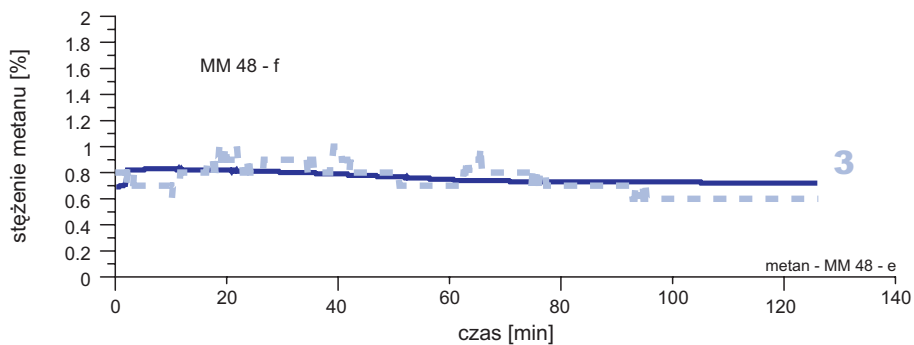
Rys. 12. Miary odległości dla 8 czujników i ich suma



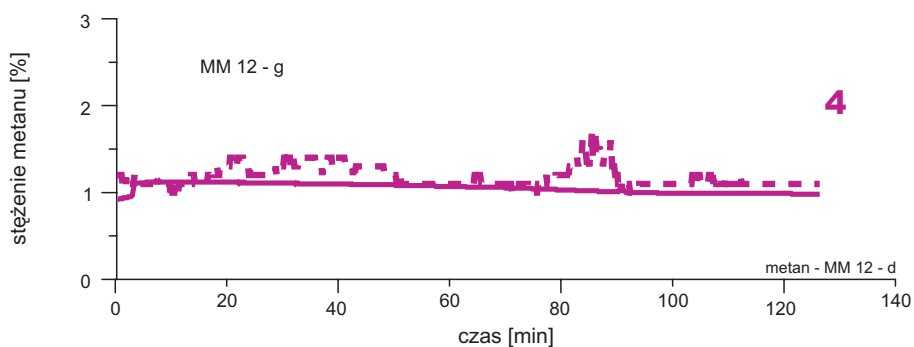
Rys. 13. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika MM 47



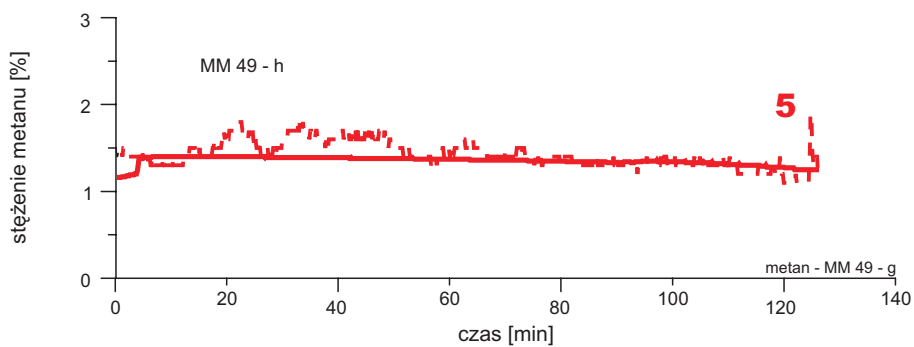
Rys. 14. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika MM 11



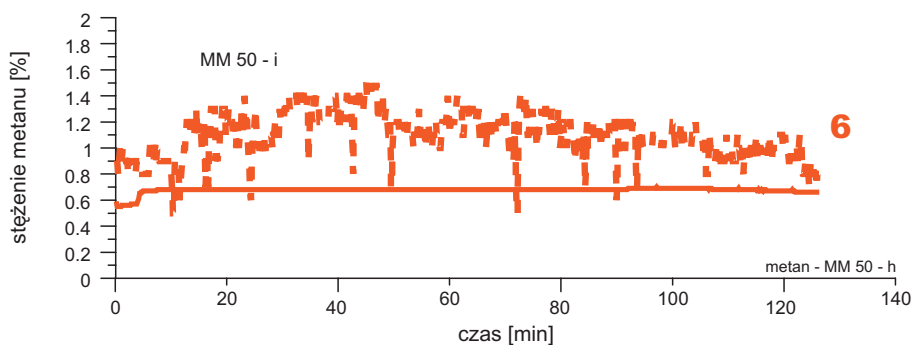
Rys. 15. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika MM 48



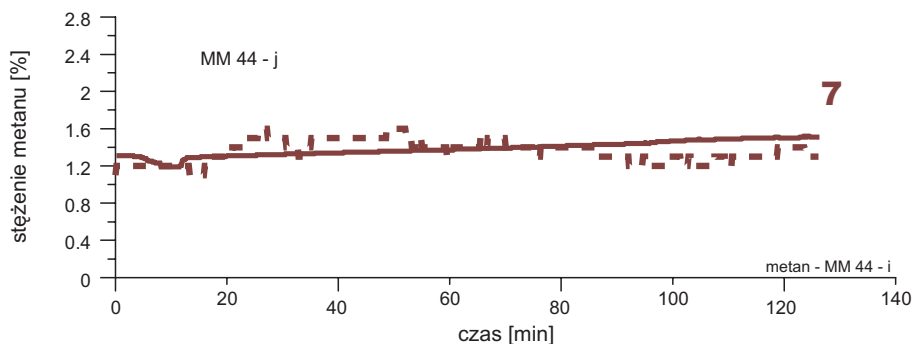
Rys. 16. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika MM 12



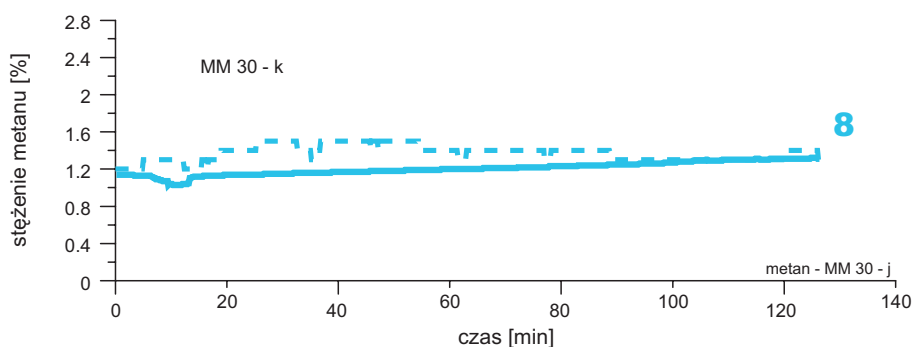
Rys. 17. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika MM 49



Rys. 18. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika MM 47



Rys. 19. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez progностyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika MM 44



Rys. 20. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez progностyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika MM 30

#### 4.4. Analiza uzyskanych wyników – kilka uwag

Dla celów walidacji komputerowego programu symulacji wentylacji *VentMet* z uwzględnieniem w progностycznych obliczeniach zmiennych w czasie źródeł metanu związanych z urabianiem kombajnem, wykonano wiele kolejnych przykładów symulacji. W konsekwencji dobrano tak parametry modelu, że zastosowana miara odległości potwierdziła ich optymalny dobór. Dla przedstawionych na rysunkach od 13 do 20 rozwiązań dobrane parametry zestawiono w tabeli 5.

Analizując przedstawione na wykresie (rys. 12) miary odległość dla poszczególnych czujników stężenia metanu widać, że przebiegi uzyskane na czujniku MM 11 i MM 50 charakteryzują się największym odstępstwem od zarejestrowanych przez system monitoringu. Czujnik MM 50, który jest umieszczony w chodniku B-5 pod stropem za skrzyżowaniem ze ścianą B-5 wykazuje widoczne odstępstwo wartości obliczonej od wartości zmierzonej podczas eksperymentu. Można przypuszczać, że czujnik MM-50 rejestruje nie całkiem wymieszany metan z powietrzem. Duża zmienność wartości chwilowych stężenia metanu rejestrowanego przez metanomierz MM 50 może potwierdzać hipotezę, że w obrębie skrzyżowania występuje mieszanie się strumienia wypływającego ze ściany z dopływającym powietrzem odświeżającym z chodnika B-5. Dodatkowo w chodniku B-5 ma miejsce odstawa, podczas której wydzielą się metan, który jako gaz lżejszy od powietrza kieruje się pod strop, a następnie jest zabierany przez świeże powietrze i dostarczany w rejon skrzyżowania. Czujnik metanu MM 50, który jest umieszczony pod stropem wskazuje wyższe stężenia, niż to wynika z progностycznych obliczeń. Wydaje się, że dopiero obliczenia w oparciu o model 3D lub eksperymentalne pomiary weryfikujące w przekroju lokalizacji każdego czujnika stężenia metanu i prędkości przepływu powietrza dadzą odpowiedź na pokazane rozbieżności.

### 5. Podsumowanie

Stan przewietrzania w kopalni głębinowej podlega ciągłym zaburzeniom, które wywołane są również procesami technologicznymi. Zakłócenia wywołane urabianiem kombajnu mają raczej lokalny charakter,

choć w pewnych warunkach mogą zakłócać ciągłość wydobywania, a nawet prowadzić do stanu zagrożenia. Praktyka pokazuje, że aktualne wyposażenie w ścianach szczególnie tych o dużej wydajności ma wpływ na przewietrzanie ściany. Wynika to z gabarytów maszyn w stosunku do przekroju wyrobisk stąd jest oczywiste, że ruch kombajnu w ścianie ma wpływ na zaburzenia parametrów powietrza.

Właśnie te zakłócenia procesu przewietrzania były przedmiotem badań zarówno eksperymentalnych jak i modelowych. W celu obserwacji takich zaburzeń jak i ich wpływu na parametry przepływu, przygotowano oraz wykonano eksperyment rejestracji stanów niestabilnych parametrów powietrza wywołanych pracą maszyny urabiającej w ścianie B-5 pokł. 358/1 w kopalni Budryk.

Przeprowadzony eksperyment i analiza zarejestrowanych przebiegów parametrów powietrza pozwala stwierdzić, że:

- Ciśnienia bezwzględne rejestrowane we wszystkich punktach pomiarowych w rejonie ściany pokazują znaczną zmienność. W czasie urabiania i ruchu kombajnu w ścianie obserwowano wyraźne efekty zmian ciśnienia.
- Ruch kombajnu w ścianie nie pozostawał również bez wpływu na chwilowe i lokalne zaburzenia przepływu powietrza, co rejestrował anemometr umieszczony w ścianie. Duże gabaryty stosowanych maszyn w ścianach o dużej wydajności w czasie urabiania tworzą ruchomą przeszkodę ograniczającą przekrój ściany, wywołując tym samym lokalne wzrosty prędkości powietrza. Fakt ten ma zapewne wpływ na procesy mieszania metanu wydzielającego się w czasie urabiania z powietrzem.
- W czasie urabiania w ścianie obserwuje się wzrost stężenia metanu na kolejnych metanomierzach wzdłuż ściany zgodnie z kierunkiem przepływu powietrza w tym wypadku idąc od góry w dół ściany. Równocześnie widać było przesuwanie się czoła wzrostu stężenia metanu w kierunku przepływu powietrza. Widoczne było sumowanie się wydzielanego metanu w czasie jazdy kombajnu w tym wypadku zgodnie z kierunkiem powietrza.

Badania potwierdziły, że zaburzenia warunków przewietrzania wywołane ruchem kombajnu i urabianiem węgla mają wprawdzie lokalny charakter ale wywołany urabianiem dopływ metanu ma istotne znaczenie dla kształtowania się rozkładów stężenia metanu w ścianie.

Przeprowadzony w kopalni Budryk eksperyment pomiarowy umożliwił wykonanie kolejnego kroku walidacji zastosowanego modelu matematycznego w programie *VentMet*. W badanym przypadku skupiono się na istotnym elemencie modelu opisującym dopływ metanu związany z urabianiem kombajnu w ścianie prowadzonej z zawałem stropu. Rozważano wydzielanie się metanu wzdłuż ściany, które mieszając się z przepływającym powietrzem winno stwarzać bezpieczne warunki pracy. Przeprowadzony eksperyment pomiarowy oraz wykonane prognostyczne symulacje pokazały złożoność procesu wentylacji w tak newralicznym miejscu kopalni jakim jest ściana. Wykonane badania 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. Wydaje się, że zastosowanie modeli wielowymiarowych 3D wniesie dodatkowe elementy poznawcze i pokaże kierunki poprawy wentylacji wyrobisk przyścianowych.

Badania wykonane w czasie eksperymentu z rejestracją parametrów powietrza wzdłuż ściany w czasie ruchu maszyn i normalnego wydobywania wraz z próbą odtworzenia tych danych metodami symulacji komputerowej są unikatowe nie tylko w skali krajowej, ale również w warunkach światowych.

Pracę wykonano w ramach pracy statutowej realizowanej w IMG PAN Kraków w roku 2007, finansowanej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

## Literatura

- [1] Airuni A.T.: *Prognozowanie i priedotwraszczenie gazodynamiczieskich jawlienij w ugotnych szachtach*, Moskwa, „Nauka”, (1987).
- [2] Blecharz B., Dziurzyński W, Krach A., Pałka T.: *Symulacja przepływu mieszaniny powietrza i metanu w rejonie ściany, z uwzględnieniem procesu urabiania i odstawy węgla*, Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa nr 3-4, s. 55-67, (2003).
- [3] Bojarski P., Kurpas M., Wasilewski S.: *Badania eksperymentalne stanów niestabilnych parametrów powietrza w ścianie w czasie urabiania kombajnem*, Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa nr 6/437, s. 12-22, (2007).

- [4] Dziurzyński W.: *Prognozowanie procesu przewietrzania kopalni głębinowej w warunkach pożaru podziemnego*, Studia, Rozprawy, Monografie Nr 56, rok PL ISSN 0860-74-19, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN Kraków, (1998) .
- [5] Dziurzyński W., Krach A.: *Mathematical model of methane emission caused by a collapse of rock mass crump.*, Archives of Mining Sciences, 46, 4. (2001).
- [6] Dziurzyński W., Krach A., Pałka T.: *Prognozowanie rozkładu stężenia metanu w sieci wentylacyjnej z uwzględnieniem systemu monitoringu*, Prace IMG PAN, t. 8, nr 3-4, (2001).
- [7] Dziurzyński W., Krach A., Krawczyk J., Pałka T.: *Walidacja modelu matematycznego przewietrzania kopalni stosowanego w programie VentMet z wykorzystaniem bazy danych pomiarowych wybranego rejonu wentylacyjnego KWK*, Prace IMG PAN, t. 8, nr 3-4, (2005).
- [8] Dziurzyński W., Pałka T., Krach A., Krawczyk J.: *Zastosowanie miary odległości szeregów czasowych do walidacji modelu matematycznego przewietrzania kopalni stosowanego w programie VentMet*, Przegląd Górniczy, nr 1, (2007).
- [9] Dziurzyński W., Kruczkowski J.: *Validation of the mathematical model used in the VENTGRAPH programme on the example of the introduction of new headings to the ventilation network of mine*, Archives of Mining Sciences, vol. 52, 3 (2007).
- [10] Drzęźła B., Badura H.: *Przybliżony rozkład stężenia metanu emitowanego z urobku*, Archiwum Górnictwa, t. 25, z. 2, (1980).
- [11] Klebanow F.S.: *Aerodynamicznejskie uprawienie gazowym reżimom w szachtach wentylacyjnych sieciach*, Izdatelstwo „Nauka”, (1974).
- [12] Kozłowski B.: *Prognozowanie zagrożenia metanowego w kopalniach węgla kamiennego*, Wyd. „Śląsk”, Katowice, (1972).
- [13] Krach A.: *Źródła niepewności w kopalnianych pomiarach wentylacyjnych*. Archives of Mining Sci., Vol. 49, Spec. Issue, (2004).
- [14] Krach A., Krawczyk J., Kruczkowski J. Pałka T.: *Zmienność pola prędkości i strumienia objętości powietrza w wyrobiskach kopalni głębinowych*, Archiwum Górnictwa, Seria: Monografia nr 1, Kraków, (2007).
- [15] Tarasow B.G., Kołmakow W.A.: *Gazowyj barjer ugołnych szacht*, „Niedra”, Moskwa, (1978).

### **Validation of the computer program for ventilation simulation VentMet in the face region, taking into account time-variant methane inflows due to cyclic operations of the shearer and loader**

#### **Abstract**

The paper summarises the validation data of a ventilation simulation program, the results were collected in the gassy region of the face B-5, seam 358/1 in the colliery Burdyk during the mining and haulage operations. The face region was being monitored during the shearer and loader operation. Methane concentration, pressure and velocity sensors were installed in the face region for the purpose of the experiments [3]. Additional ventilation measurements were taken to find the airflow parameters in the area [14].

The manner of the shearer and loader operation and coal haulage with respect to the airflow direction prompted the modification of the mathematical model of the shearer and loader presented in [2].

Validation procedure utilizes the time series distance method [8] allowing the quantitative evaluation of reliability of the mathematical model in VentMet. A numerical model of the ventilated region is prepared, covering the workings in the B-3, B-4 and B-5 faces, seam 358/1. Simulations are performed of the impacts produced by a shearer and loader whilst in service and the effects of methane inflow on the flow of air and methane mixture. Simulation data are compared with sensors' readouts collected during the experimental program. The measure is determined for subsequent simulation experiments, for which selected parameters of the shearer and loader operation are varied. Plotted time histories of methane concentrations are compared. The specified measures for the given sensors and their final values are shown in a graphic form. The results confirm the adequacy of computer simulations of airflow conditions in an intricate networks of mine headings. The experiments show good quality of theoretical forecasts and allowed for drawing conclusions concerning the experimental procedure and the applied mathematical model of mine ventilation.

**Keywords:** mine ventilation, validation, methane inflow, shearer and loader operation, monitoring system

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Janusz Roszkowski, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków