

Walidacja programu VentZroby z wykorzystaniem wyników eksperymentu „in situ” i z zastosowaniem nowych algorytmów przygotowania danych wejściowych

WACŁAW DZIURZYŃSKI, AMDRZEJ KRACH, TERESA PAŁKA, STANISŁAW WASILEWSKI

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

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki eksperymentu pomiarowego oraz walidacji programu komputerowego VentZroby otrzymane przez porównanie wyników pomiarów wykonanych w ścianie urabianej kombajnem z wynikami symulacji komputerowej wykonanej dla tego rejonu kopalni. Eksperyment badawczy wykonano na zmianie roboczej w ścianie B-6 pokład 358/1 w kopalni Budryk S.A., uznawanej za jedną z najtrudniejszych pod względem zagrożenia metanowego. Celem eksperymentu była rejestracja zaburzeń parametrów powietrza wywołanych ruchem kombajnu i urządzeń kompleksu ścianowego w ścianie w czasie urabiania. Obserwacje prowadzono z wykorzystaniem czujników systemu metanometrii automatycznej stanowiących podstawowe, wymagane przepisami, zabezpieczenia gazometryczne w rejonie ściany uzupełnione o dodatkowe stacjonarne czujniki rozmieszczone w wybranych punktach rejonu ściany. W czasie eksperymentu pomiarowego mierzone były prędkości powietrza, ciśnienia barometryczne i stężenia metanu w kilku punktach ściany i w chodnikach przyścianowych. W odróżnieniu od poprzednio przeprowadzonego eksperymentu pomiarowego (Wasilewski, Bojarski, Kurpas, 2007), w którym rejestrowano wyniki pomiarów przy ruchu kombajnu w jednym kierunku, w obecnym eksperymencie zarejestrowano prędkości powietrza i stężenia metanu dla pełnego cyklu pracy kombajnu, składającego się z urabiania w czasie jazdy w górę ściany, postoju i urabiania w czasie jazdy w dół ściany. Jako kryterium porównania zastosowano, podobnie jak w pracy przedstawionej przez Dziurzyńskiego, Kracha, Krawczyka i Pałkę (2007), miarę odległości szeregów czasowych.

W programie komputerowym VentZroby wykorzystano zmodyfikowany model emisji metanu z calizny węglowej przed urabiającym kombajnem i z nowo odkrytej powierzchni węgla za kombajnem. Modyfikacja modelu pozwoliła na symulację pracy kombajnu w dwóch kierunkach z postojami. Odpowiednio do tego zostały zmodyfikowane algorytmy obliczeniowe dla wyznaczenia stężenia metanu w powietrzu przewietrzającym ścianę z uwzględnieniem emisji z urobku na przenośniku ścianowym i przenośniku w chodniku podścianowym. Nowe algorytmy uwzględniają postój przenośników w czasie przerw w pracy kombajnu. Osobnym zagadnieniem jest wprowadzanie do programu symulacyjnego danych dla określenia struktury i parametrów sieci wentylacyjnej ze zrobami, parametrów eksploatacyjnych kombajnu i parametrów dla modelu emisji metanu ze ściany i z urobku, towarzyszących eksploatacji. Zwłaszcza całkiem nowy algorytm wprowadzania danych wymagał zaprogramowania ruchu kombajnu w obydwu kierunkach z postojami.

Obliczone wyniki symulacji i ich porównanie z wynikami pomiarów w kopalni pokazują przydatność programu VentZroby dla prognozowania stanu wentylacji rejonu ściany urabianej kombajnem. Podstawowym warunkiem jest jednak właściwy zbiór danych wejściowych dla programu symulacyjnego, które mogą być uzyskane tylko na drodze pomiarowej, z systemu monitoringu i pomiarów indywidualnych.

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

1. Wprowadzenie

System przewietrzania w kopalni głębinowej podlega licznym zaburzeniom naturalnym jak wstrząsy, wyrzuty czy samozapalenia oraz zakłóceniom technologicznym jak strzelania, praca maszyn związanych z urabianiem czy transportem poziomym i pionowym, a także postojami wentylatorów. Zaburzenia te wywołują stany nieustalone parametrów powietrza o bardzo różnym zakresie oraz zasięgu. Poznanie tych zaburzeń jest możliwe przez ich obserwacje, rejestracje, ale także weryfikowane pomiarami próby opisu metodami modelowania oraz symulacji komputerowej, które są w ostatnim okresie przedmiotem wielu

badań [Wasilewski St., Bojarski K., Kurpas M., 2007, Dziurzyński W., Krach A. Krawczyk J., Pałka T., 2007, Dziurzyński W., Krawczyk J., Kruczkowski J. 2008]. Dzieje się tak dzięki rozwojowi metrologii w aerologii górniczej i powstaniu nowoczesnych systemów monitorowania parametrów powietrza, szerokiej gamy czujników zwykle o działaniu ciągłym i dużej dynamice rejestracji parametrów. Równocześnie istotny postęp osiągnięto w aerologii w zakresie modelowania numerycznego i symulacji procesów wywołanych zarówno zaburzeniami o gwałtownym przebiegu, np. po wyrzutach i wybuchach, ale także tych o powolnym przebiegu, np. samozapalenia czy gaszenia pożarów metodami inertyzacji pól pożarowych. Obecnie istnieją również możliwości modelowania i symulacji zakłóceń wywołanych np. pracą kombajnu w ścianie, niestabilną pracą wentylatorów czy zamianą położenia i otwarcia tam wentylacyjnych.

Zasadnicze znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa pracy załóg górniczych w kopalniach głębinowych ma właściwa wentylacja, zapewniająca dostarczenie wymaganej ilości powietrza do wyrobisk. Najważniejszymi wielkościami określającymi stan wentylacji są: strumień objętości powietrza w wyrobiskach, stężenia metanu i innych gazów szkodliwych (np. pożarowych) w powietrzu, ciśnienia barometryczne, temperatura i wilgotność powietrza. Stan wentylacji jest kontrolowany przez system monitoringu i pomiary ręczne. Jednak ograniczona liczba czujników pomiarowych systemu monitoringu oraz ograniczone możliwości wykonywania pomiarów ręcznych nie pozwala na poznanie pełnego obrazu stanu całej sieci wentylacyjnej kopalni. Ponadto często zachodzi konieczność przewidywania skutków zmian w sieci wentylacyjnej spowodowanych działaniem celowym lub wywołanych przyczynami naturalnymi, takimi jak zaciskanie wyrobisk, tąpnięcia, wyrzuty gazów i skał oraz pożary podziemne. Możliwość przewidywania stanu wentylacji dla całej kopalni lub jej wybranych fragmentów dają programy symulacyjne wykorzystujące modele matematyczne zjawisk towarzyszących eksploatacji. W pierwszej kolejności prowadzono prace nad modelowaniem sieci wentylacyjnej kopalni i zastosowaniem tych modeli w obliczeniach komputerowych dla prognozowania rozplywu powietrza i gazów szkodliwych, emitowanych do sieci wentylacyjnej w wyniku pożaru lub wyrzutu. W tej dziedzinie należy wymienić prace Trutwina (1972) na temat symulacji cyfrowej stanów nieustalonych procesu przewietrzania i regulacji kopalnianej sieci wentylacyjnej, pracę Dziurzyńskiego i Trutwina (1978) oraz Dziurzyńskiego i Krawczyka (2001) o numerycznej metodzie obliczania nieustalonego przepływu powietrza w kopalnianej sieci wentylacyjnej, artykuł Dziurzyńskiego i Kracha (1983) o obliczaniu stanu nieustalonego w kopalnianej sieci wentylacyjnej wywołanego dopływem bocznym, monografię Dziurzyńskiego (1998) o prognozowaniu procesu przewietrzania kopalni głębinowej w warunkach pożaru podziemnego, oraz artykuły Dziurzyńskiego, Tracza i Trutwina (1987a, 1987b) na temat przepływu powietrza i gazów powyrzutowych w kopalnianej sieci wentylacyjnej. W wyniku wymienionych prac w IMG PAN zrealizowany został użytkowy program komputerowy do prognozowania rozplywu gazów w kopalnianej sieci wentylacyjnej (Dziurzyński 1999). W programie zastosowano iteracyjną metodę oczkową do obliczania rozplywu powietrza (Pawiński, Roszkowski, Strzeński 1995) i równania transportu masy dla obliczania propagacji stężenia gazów w sieci wentylacyjnej. Dalszym rozwinięciem metody symulacji komputerowej sieci wentylacyjnej kopalni było zamodelowanie zrobów jako sieci bocznic wentylacyjnych oraz rozwój modeli dopływu metanu w oparciu o prace teoretyczne i doświadczalne. Przepływem powietrza przez strefę zawału zajmował się m.in. J. Szlązak (2000). W ostatnich latach przeprowadzono w kopalniach szereg eksperymentalnych prac związanych z badaniem rozkładów stężenia metanu. W pracy (Nawrat 1999) autor badał wpływ podawania metanu do otamowanych wyrobisk będących w kontakcie ze zrobami. Szczególną uwagę należy zwrócić na metan zgromadzony w przestrzeni wyeksploatowanej, czyli w zrobach. Znaczące wyniki w zakresie wpływu zrobów na stężenie metanu przedstawił W. Trutwin (1973), który wykazał związek między zmianami ciśnienia w wyrobisku, a zmianami stężenia metanu. Badania przedstawione w pracy Trutwina oparte są o model matematyczny o stałych skupionych, opisujący czasowe zmiany stężenia metanu przy pomocy równania różniczkowego zwyczajnego. Weryfikację tego modelu na podstawie laboratoryjnych badań eksperymentalnych podał Gumuła i Trutwin (1977). Również znany jest (Dziurzyński 1998) model matematyczny przepływu mieszaniny metanu i powietrza w zrobach, traktowany jako filtracyjny dwuwymiarowy przepływ płynu nieściśliwego z dopływem metanu do zrobów. Model ten zakłada natychmiastowe mieszanie się w każdej elementarnej objętości wydzielonej na długości wyrobiska dopływającej mieszaniny powietrza i metanu ze zrobów i płynącej wyrobiskiem. Wykazano, że szczególne znaczenie na bezpieczeństwo procesu przewietrzania mają stany przejściowe. Skokowe zmiany w warunkach przewietrzania wywołane np. otwieraniem lub zamykaniem tam wentylacyjnych powodują chwilowe zmiany stężenia metanu i w zależności od dopływu metanu oraz zaburzenia wentylacyjnego można się spodziewać znacznych przekroczeń dopuszczalnych wartości stężeń metanu. Wykorzystując wyniki

prac Trutwina (1973), Wasilewski wykonał interesującą pracę (1983), w której między innymi przedstawił wyniki eksperymentalnych badań rejestracji stężenia metanu w rejonie ścian przylegających do zrobów przy zmiennych warunkach przewietrzania. Przyjmując za Trutwinem (1973) matematyczny model wypływu metanu ze zrobów, Wasilewski wyznaczył parametry tego modelu uzyskując dobrą zgodność z rzeczywistymi przebiegami. W pracy doktorskiej Niezgoda (2000) badał rozkłady stężenia metanu w rejonie ścian kopalni Zofiówka i Borynia po wyłączeniu wentylatora głównego przewietrzania. Tą drogą uzyskano bogaty materiał doświadczalny, który pozwolił na wyznaczenie parametrów modelu matematycznego opisującego dopływ metanu ze zrobów do wyrobisk przyścianowych. W kolejnych wersjach programów symulacyjnych, opracowywanych w IMG PAN przez zespół pod kierunkiem W. Dziurzyńskiego dołączono możliwość wykorzystywania danych z systemu monitoringu kopalnianej sieci wentylacyjnej (Dziurzyński, Pałka, 2000), (Dziurzyński, Krach, Pałka 2001). Oprócz dopływu metanu ze zrobów, w ścianie urabianej kombajnem występuje dopływ metanu związany z procesem urabiania (Tarasow, Kołmakow 1978; Badura 2001) oraz metan uwalniany z urobku na przenośniku (Drzęzła, Badura 1980). Zjawiska te uwzględniano w modelu matematycznym przedstawionym w pracy Blecharz, Dziurzyńskiego, Kracha i Pałki (2003). Następnym etapem było opracowanie modelu zrobów, który pozwalał odtwarzać zjawisko tzw. „oddychania zrobów” (Krach, 2004) i zastosowanie tego modelu w programie symulacyjnym VentMet wraz z próbą walidacji tego programu (Dziurzyński, Krach, Krawczyk, Pałka 2005). Zaproponowano metodę weryfikacji programu z zastosowaniem funkcji celu, minimalizowanej dla optymalizacji parametrów modelu (Findeisen, Szymanski, Wierzbicki 1977). Jako funkcję celu przyjęto unormowany kwadrat odległości wektorów stanu prognozowanego i rzeczywistego, tj. kwadrat miary euklidesowej. Miarę tę zastosowano w praktyce do walidacji modelu matematycznego przez symulację transportu mieszaniny powietrza i metanu po wyrzucie w chodniku transportowym w KWK „ZOFIÓWKA” i porównanie z danymi z monitoringu (Dziurzyński, Krach, Krawczyk, Pałka 2007). Zwaliowano również model ściany urabianej kombajnem z odstawą urobku przenośnikiem ścianowym i przenośnikiem w chodniku transportowym. (Dziurzyński, Krach, Pałka, Wasilewski 2007). 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. Równocześnie, dla pozyskania danych porównawczych, przeprowadzono eksperyment pomiarowy w kopalni.

Można stwierdzić, że symulacje komputerowe we współczesnej praktyce górniczej stają się ważnym narzędziem badawczym nie tylko opisu zdarzeń i zjawisk obserwowanych w określonych warunkach, ale coraz częściej narzędziem w procesie projektowania przez możliwości obliczeń wariantowych celem prognozowania skutków przyjętych rozwiązań technologicznych, a także doboru maszyn. Praktyka pokazuje, że gabaryty maszyn szczególnie tych o dużej wydajności mają niewątpliwie wpływ na warunki przewietrzania w ścianie co wynika min. z rozmiarów kombajnu w stosunku do przekroju ściany. Omawiany w pracy eksperyment w ścianie, podobnie jak ten wykonany rok wcześniej [Dziurzyński, Krach, Pałka, Wasilewski 2007], był próbą oszacowania wpływu poruszającego się kombajnu, stanowiącego ruchomą przeszkodę, na rozkład ciśnień, warunki przepływu oraz rozkład metanu wzdłuż ściany. W porównaniu z badaniami wykonanymi rok wcześniej, kiedy badano zaburzenia wywołane ruchem kombajnu jedynie zgodnie z kierunkiem przepływu powietrza, tym razem rozszerzono zakres badań o interesujące zaburzenia wywołane ruchem kombajnu w obu kierunkach tzn. zarówno „*pod prąd*” płynącego powietrza oraz zgodnie z nim. Takie rozszerzenie warunków eksperymentu i zakresu badań pozwala odpowiedzieć na pytanie czy występują istotne różnice w warunkach przewietrzania, a w szczególności w rozkładzie metanu wzdłuż ściany w przypadku zmiany kierunku urabiania kombajnu.

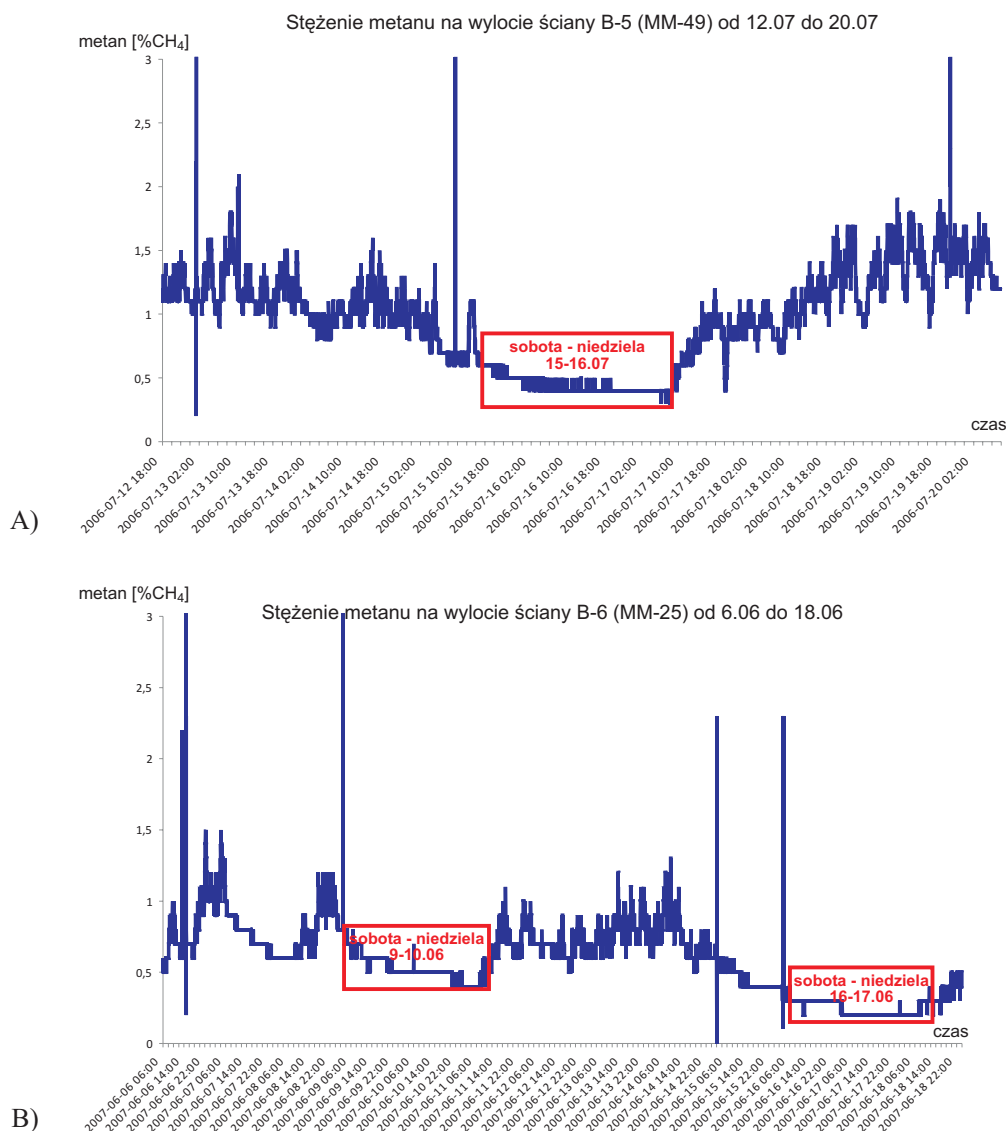
Wykonane eksperymentalne badania były możliwe dzięki rozszerzeniu zakresu rejestracji stężenia metanu w systemie zabezpieczeń metanometrycznych o dodatkowe czujniki zabudowane w ścianie (metanomierze oraz anemometr). Wszystkie te parametry były rejestrowane w systemie dyspozytorskim metanometrii automatycznej SMP-NT. Równocześnie w ścianie (w trzech punktach) oraz w rejonie ściany rejestrowano, wykorzystując specjalistyczną aparaturę, ciśnienie bezwzględne za pomocą precyzyjnych, cyfrowych mierników ciśnienia barometrycznego oraz prędkości powietrza za pomocą anemometrów. Wszystkie parametry powietrza w czasie eksperymentu były rejestrowane w cyklu co 2 sekundy.

2. Eksperyment badawczy – obserwacje parametrów powietrza w ścianie

Powszechnie wiadomo, że w czasie zmian roboczych stężenie metanu w ścianie wzrasta. Często wzrost stężenia metanu jest tak duży, że następuje przekroczenie wartości krytycznych 2% CH₄, co powoduje wyłączenie energii elektrycznej w ścianie oraz zatrzymanie pracy maszyn. Doświadczenia w kopalniach szczególnie tych o dużym zagrożeniu metanowym pokazują, że wzrost poziomu stężenia metanu może być na tyle duży, że przerwy między zmianowe oraz zmiany remontowe kiedy wstrzymane jest urabianie są niewystarczające do przewietrzenia ściany i usunięcia nadmiaru metanu. W konsekwencji nie następuje obniżenie stężenia metanu do poziomu umożliwiającego nieprzerwaną (przez zabezpieczenia metanometryczne) pracę maszyn urabiających na zmianach roboczych.

Doświadczenia m.in. kopalni Budryk pokazują, że w ścianach silnie metanowych zależność stężenia metanu od urabiania była tak duża, że nie było możliwe kontynuowanie pracy maszyn w ścianach przez cały tydzień. W tych ścianach konieczne było wprowadzenie takiej organizacji pracy aby urabianie było tylko w pierwszych dniach (poniedziałek do środy), a w kolejnych dniach (czwartek-niedziela) wstrzymywano pracę maszyn celem przewietrzenia ściany i obniżania poziomu stężenia metanu.

Znane są również przypadki skutecznego sterowania prędkością urabiania (jazdy kombajnu) w zależności od stężenia metanu mierzonego za pomocą metanomierzy ręcznych. Ten sposób sterowania kom-

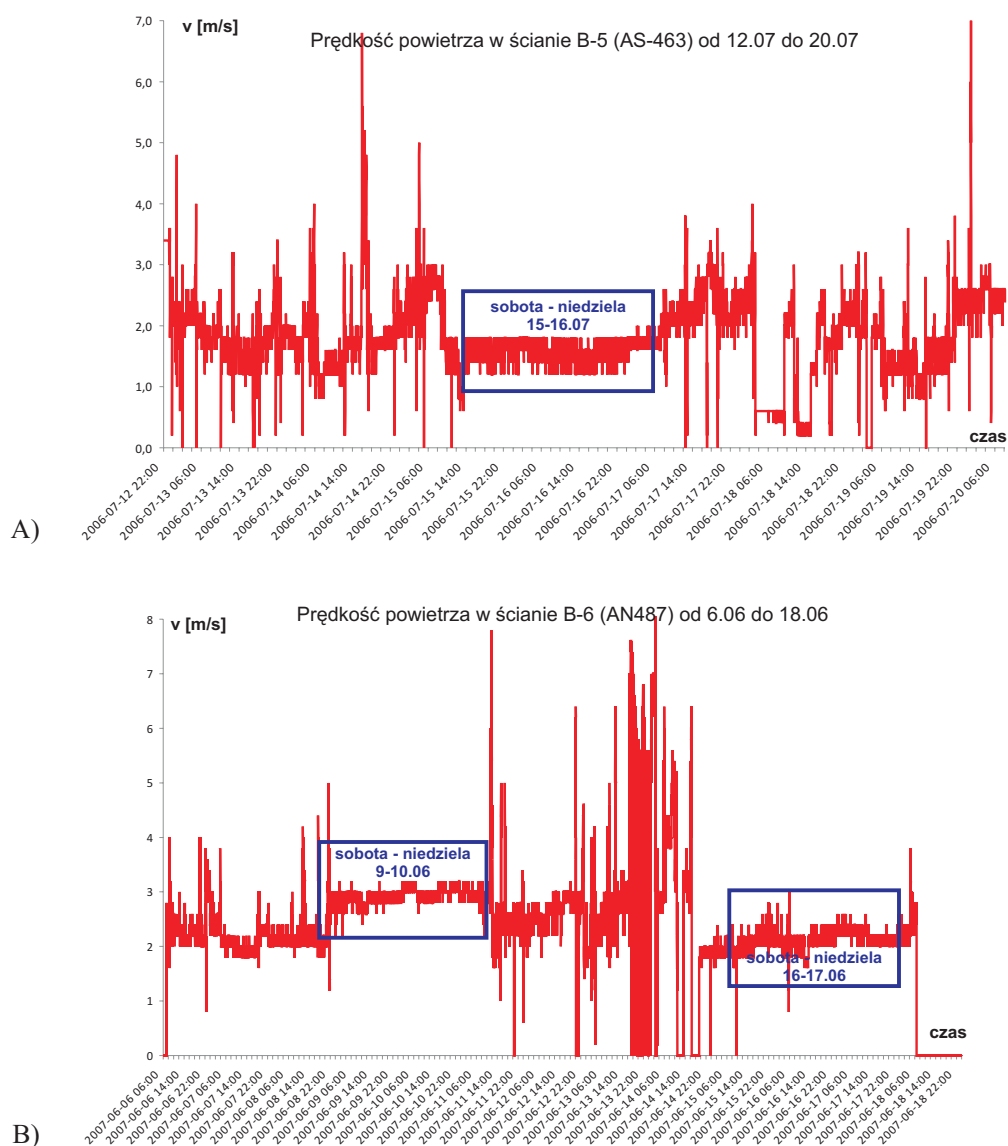


Rys. 1. Rejestracje stężenia metanu na wylocie ściany w długim okresie w KWK Budryk
A) wylot ściany B-5 pokł. 358/1, B) wylot ściany B-6 pokł. 358/1

bajnem dowodzi, że istnieje silny związek pomiędzy wydzielaniem metanu, a prędkością urabiania węgla kombajnem w ścianie. Równocześnie mając na uwadze wzrost gazonośności pokładów wydaje się konieczne podjęcie prac nad wprowadzeniem automatyzacji układów sterowania prędkością urabiania w zależności od poziomu wydzielania metanu.

Na przykładach poniżej, z kopalni Budryk, pokazano wahania stężenia metanu na wylocie ze ściany w zależności od urabiania na zmianach roboczych oraz przerw w urabianiu w dniach wolnych i święta. Można zauważyć, że szczególnie dla ściany B-5 (rys. 1A) wzrost stężenia metanu i znaczne wahania w czasie roboczym podczas urabiania węgla był wyraźny. W ścianie B-6 (rys. 1B) widoczny jest również wyraźny spadek stężenia metanu i gładki jego przebieg w dwóch okresach wolnych od urabiania (sobota-niedziela).

Praktyka górnicza pokazuje również znaczne zaburzenia przepływu powietrza w ścianie w czasie jazdy kombajnu. Tak duże zmiany są spowodowane znacznymi rozmiarami kombajnu w stosunku do powierzchni przekroju ściany. Szczególnie w ścianach o dużej wydajności, w których pracują kombajny o dużej mocy te ruchome przeszkody wprowadzają silne zaburzenia przepływu. Pokazane na rysunku 2 rejestracje prędkości powietrza w ścianie B-5 (rys. 2a) oraz B-6 (rys. 2b) rejestrowane przez anemometry umieszczone w środku ściany pokazują wahania prędkości powietrza nawet kilkakrotnie przekraczające wartość średnią w momencie przejazdu kombajnu w pobliżu anemometru.



Rys. 2. Rejestracje prędkości powietrza w ścianie w długim okresie w KWK Budryk
A) w ścianie B-5 pokł. 358/1, B) w ścianie B-6 pokł. 358/1

Te obserwacje w pełni uzasadniają potrzebę prowadzenia badań w celu poznania zakresu i zasięgu zaburzeń parametrów powietrza na warunki przewietrzania w rejonie ścian wywołanych pracą kombajnu i maszyn urabiających kompleksu ścianowego.

3. Eksperyment w rejonie ściany B-6 pokł. 358/1 w kopalni Budryk

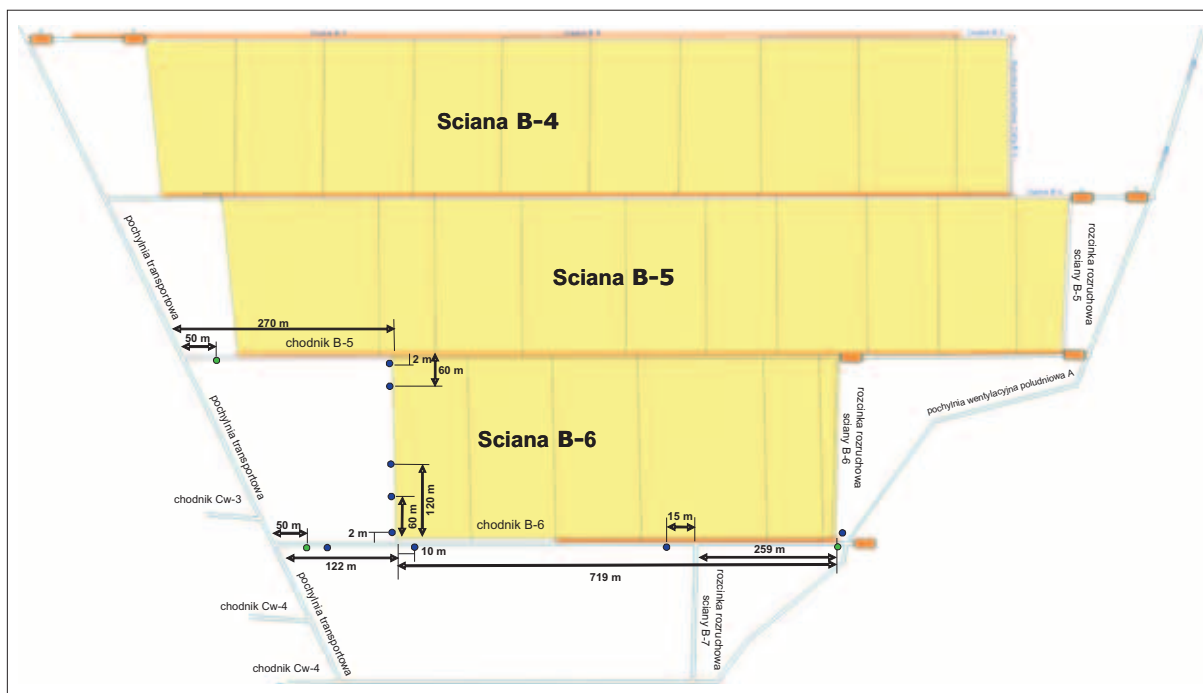
Miejsce i warunki eksperymentu

Ściana B-6 zlokalizowana była w partii B pokładu 358/1 pomiędzy chodnikiem B-5, a chodnikiem B-6. Ściana prowadzona była systemem ścianowym podłużnym z zawałem stropu. Wysokość ściany wynosiła $1,9 \div 2,1$ m; długość do 250 m; a wybieg ściany był 792 m, nachylenie podłużne wynosiło $3 \div 4^\circ$, a poprzeczne od -1 do 6° (lokalnie do 10°). W ścianie B-6 na wysokości $58 \div 95$ m od chodnika podścianowego tzn. B-6 przechodził uskok o zrzucie ok. 1,0 m.

Cechy chodników przyścianowych ściany B-6 przedstawiały się następująco:

- chodnik nadścianowy B-5 692 m.
- chodnik podścianowy B-6 704 m.

Schemat rejonu ściany pokazano na rysunku 3, natomiast wymiary geometryczne wyrobisk w rejonie ściany podano w tabelicy 1.



Rys. 3. Schemat rejonu ściany B-6 pokł. 358/1

Tab. 1. Geometria wyrobisk w rejonie ściany B-6 pokł. 358/1

Odległości i wymiary	Długość, m
Długość chodnika B-5 od pochylni transportowej do ściany B-6	270
Długość chodnika B-6 od poch. transportowej do ściany B-5	122
Długość zrobów (chodnik B-6)	719
Długość zrobów (od rozeinki B-7 do rozeinki B-6)	259
Długość zrobów (od ściany B-6 do rozeinki B-7)	460

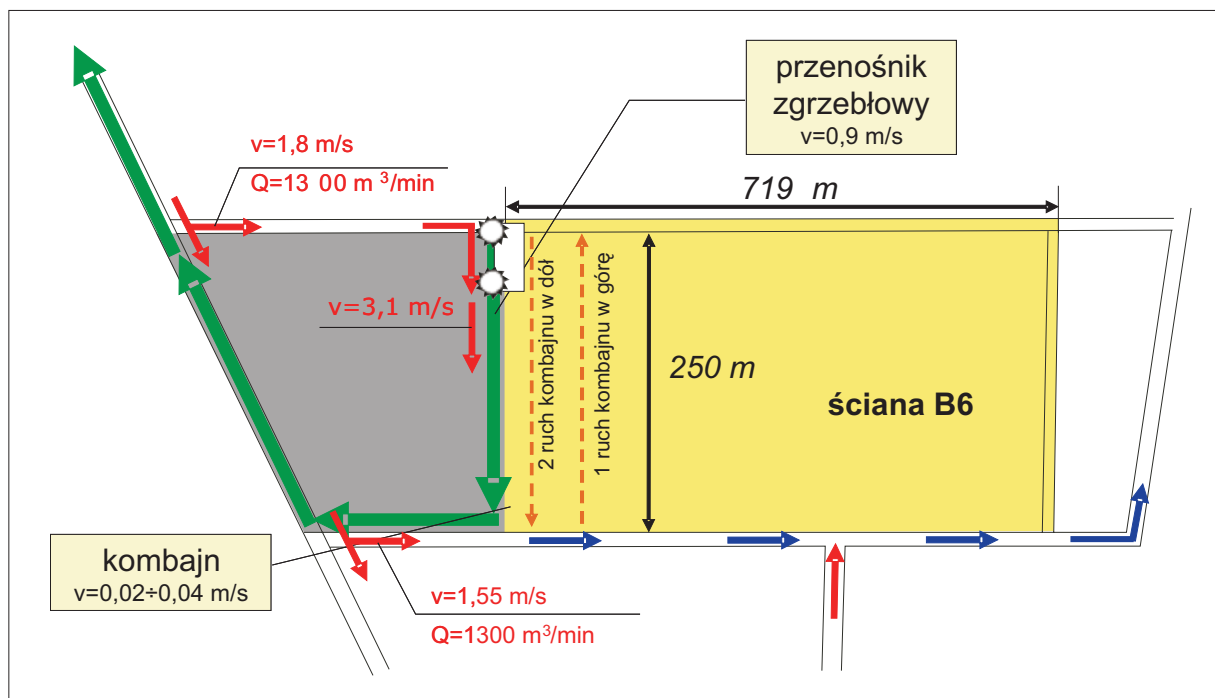
Zagrożenia naturalne

Pokład 358/ zaliczony był do klasy B zagrożenia wybuchem pyłu węglowego oraz uznany za mało skłonny do samozapalenia (II grupa samozapalności). Ściana B-6 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. Pokład nie był zagrożony tapaniami, a ściana B-6 znajdowała się w I strefie zagrożenia wodnego, a wyrobiska nie były zagrożone radiacyjnie. Temperatura pierwotna górotworu w rejonie rozcińki rozruchowej ściany B-6 była wysoka (wynosiła 34,8°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-6

W ścianie B-6 w pokładzie 358/1 stosowano kombajn KSW 460WE o całkowitej mocy 490 KW, zasilany napięciem 1000 V. W czasie urabiania możliwa prędkość robocza posuwu wynosiła 0÷15,6 m/s. Długość kombajnu pomiędzy osiami organów przy poziomo ustawionych ramionach wynosiła 14,67 m a wysokość minimalna od spągu bez osłon wynosiła 1,45 m. Kombajn urabiał dwukierunkowo lub jednokierunkowo w kierunku chodnika podścianowego na całą wysokość pokładu i na zabiór do 0,8 m. Ściana wyposażona była w obudowę zmechanizowaną Glinik 09/23 POz przeznaczoną do pracy w ścianowych, zawałowych systemach eksploatacji pokładów węglowych o grubości 1,4÷2,2 m. Podziałka obudowy wynosiła 1,5 m, a krok sekcji obudowy 0,8 m. Obudowa pracowała z tzw. „krokiem wstecz”, tzn. za maszyną urabiającą przesuwany był zestaw obudowy w sposób tradycyjny tzn. po uprzednim zrabowaniu stropnicy.

Obudowa Glinik 09/23 POZ współpracowała z kombajnem ścianowym KSW-460NE oraz przenośnikiem JOY AFC o wydajności średniej 1200 t/h, sumarycznej mocy napędów 800 KW oraz prędkości łańcucha zgrzeblowego do 1,13 m/s. Odstawę urobku ze ściany B-6 pokł. 358/1 zapewniały przenośniki taśmowe typu Gwarek 1200 o szerokości taśmy 1200 mm i prędkości taśmy do 3,2 m/s. Rzeczywiste prędkości przenośnika ścianowego i podścianowego w ścianie B-6 wynosiły 1,09 m/s. Odstawa urobku odbywała się następnie chodnikiem B-6 w kierunku pochylni transportowej i dalej w kierunku szybu wydobywczego. Parametry technologiczne i odstawy dla ściany B-6 pokł. 358/1, które występowały w czasie eksperymentu pokazano na rysunku 4 oraz podano w tablicy 2.



Rys. 4. Parametry technologiczne i odstawy urobku dla ściany B-6 pokł. 358/1

Tab. 2. Parametry technologiczne w ścianie B-6 pokł. 358/1

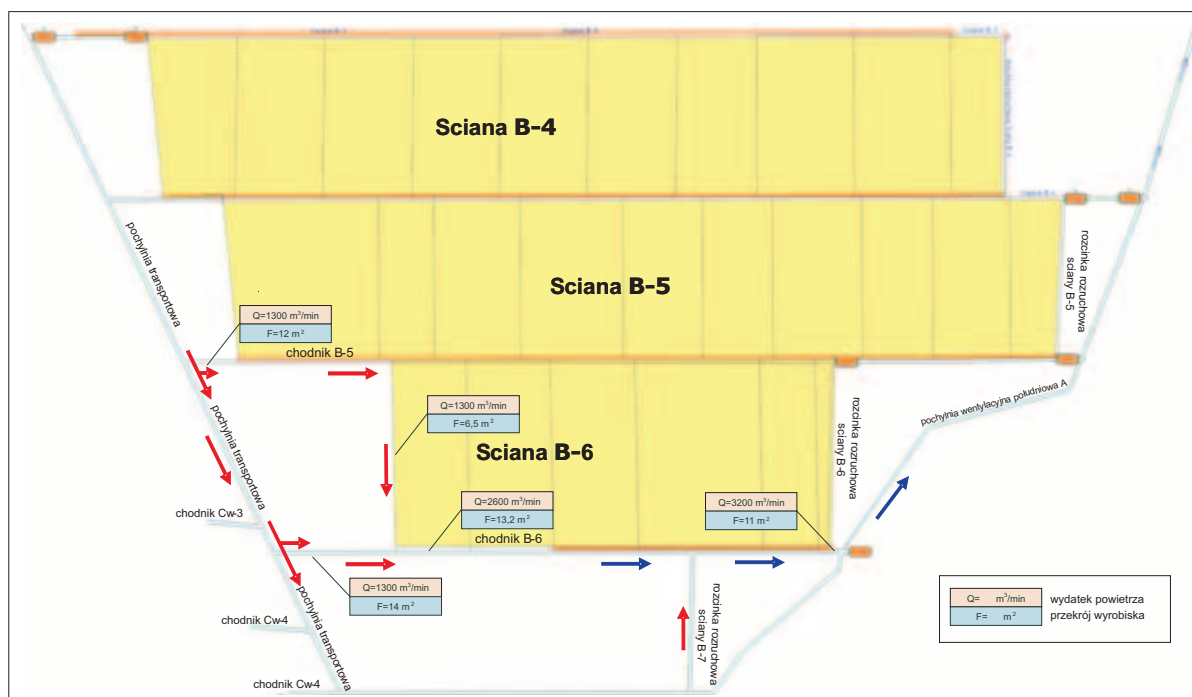
Parametr	Wartość
Długość ściany, L_s , m,	250
Długość przenośnika w chodniku transportowym L_t , m,	122
Zabiór kombajnu z , m,	0,8
Wysokość urabianego pokładu H , m,	1,9-2,1
Prędkość przenośnika ścianowego v_s , m/s,	1,09
Prędkość przenośnika podścianowym transportowym v_t , m/s,	1,09
Droga przejazdu kombajnu w górę L , m,	170
Sumaryczny czas jazdy kombajnu do góry T_g , s,	6480
Prędkość kombajnu przy urabianiu w górę v_{kg} , m/s,	0,026
Droga przejazdu kombajnu w dół L , m,	220
Sumaryczny czas jazdy kombajnu na dół T_d , s,	7060
Prędkość kombajnu przy urabianiu w dół v_{kd} , m/s,	0,028

Przewietrzanie rejonu ściany B-5 pokł. 358/1

Rejon ściany B-6 pokł. 358/1 był przewietrzany systemem Y odwrócone z doświeżaniem zużytego powietrza, który zapewniał odprowadzenie powietrza zużytego ze ściany wzdłuż zrobów (rys. 5). Taki sposób przewietrzania powodował odsunięcie strefy metanowej w zrobach od pola roboczego ściany.

Świeże powietrze do ściany B-6 doprowadzane było z szybu VI poziom 900 m przekopem pochyłym odstawczym do partii B pokł. 358/1, a następnie pochylnią transportową i chodnikiem B-5. Prąd powietrza wypływający ze ściany B-6 był doświeżany powietrzem z pochylni transportowej chodnikiem B-6. Po przewietrzeniu frontu ścianowego zużyte powietrze ze ściany doświeżane było prądem powietrza doprowadzonym chodnikiem B-6 (od strony zachodniej) i odprowadzone chodnikiem B-6 na wschód wzdłuż ociosu zrobowego ściany na wschód do pochylni wentylacyjnej południowej A, pochylnią wentylacyjną i przecinką wentylacyjną do szybu V na poziom 984 m (rys. 5)

Do rejonu eksploatowanej ściany doprowadzane było ok. 3500 m³/min powietrza świeżego, natomiast ilość, która wynikała z poziomu zagrożenia metanowego. Wydzielanie metanu w ścianie B-6 pokł. 358/1 wynosiło około 25 m³/min z czego około 9 m³/min odprowadzano drogami wentylacyjnymi. Parametry wentylacyjne rejonu ściany B-6 pokł. 358/1 podano w tablicy 3.



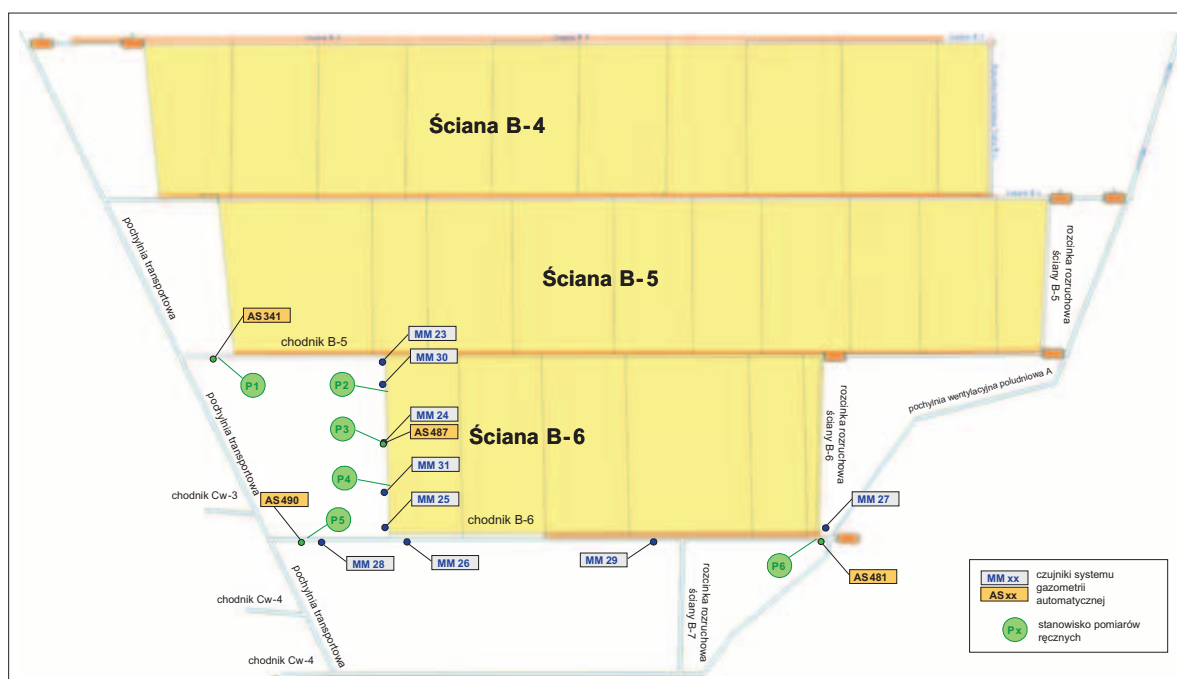
Rys. 5. Schemat przewietrzania rejonu ściany B-6 pokł. 358/1

Tab. 3. Parametry wentylacyjne ściany B-6 pokł. 358/1

Parametr	Wydatek
Ilość powietrza w ścianie, m ³ /min	1300
Ilość powietrza doświeżającego, m ³ /min	1300
Ilość powietrza doświeżającego za rozcinką B-7, m ³ /min	600
Metanowość bezwzględna ściany, m ³ CH ₄ /min	9,1
Metanowość wentylacyjna rejonu ściany, m ³ CH ₄ /min	25,6
Metanowość bezwzględna rejonu ściany, m ³ CH ₄ /min	42,5
Ujęcie metanu, m ³ CH ₄ /min	16,9
Metanowość kryterialna, m ³ CH ₄ /min	78

Przebieg eksperymentu

Eksperyment wykonano na zmianie roboczej A w godzinach od 7:00÷13:00 w dniu 13.06.2007 roku. W czasie eksperymentu wykorzystano czujniki systemu gazometrii automatycznej (metanomierze i anemometry), z których część była tam rozmieszczona tylko na czas i dla celów eksperymentu. Dodatkowo w rejonie ściany B-6 pokł. 358/1 rozmieszczono stanowiska pomiarowe, w których pomiarowcy wykonywali pomiary za pomocą przyrządów przenośnych (cyfrowych mierników ciśnienia barometrycznego oraz ręcznych anemometrów). Lokalizację czujników stacjonarnych systemu gazometrii oraz stanowisk pomiarowych pokazano na rysunku 6. Realizując cel eksperymentu, badania zaburzeń w ścianie, najwięcej czujników i stanowisk pomiarowych zlokalizowano wzdłuż ściany (rys. 7).



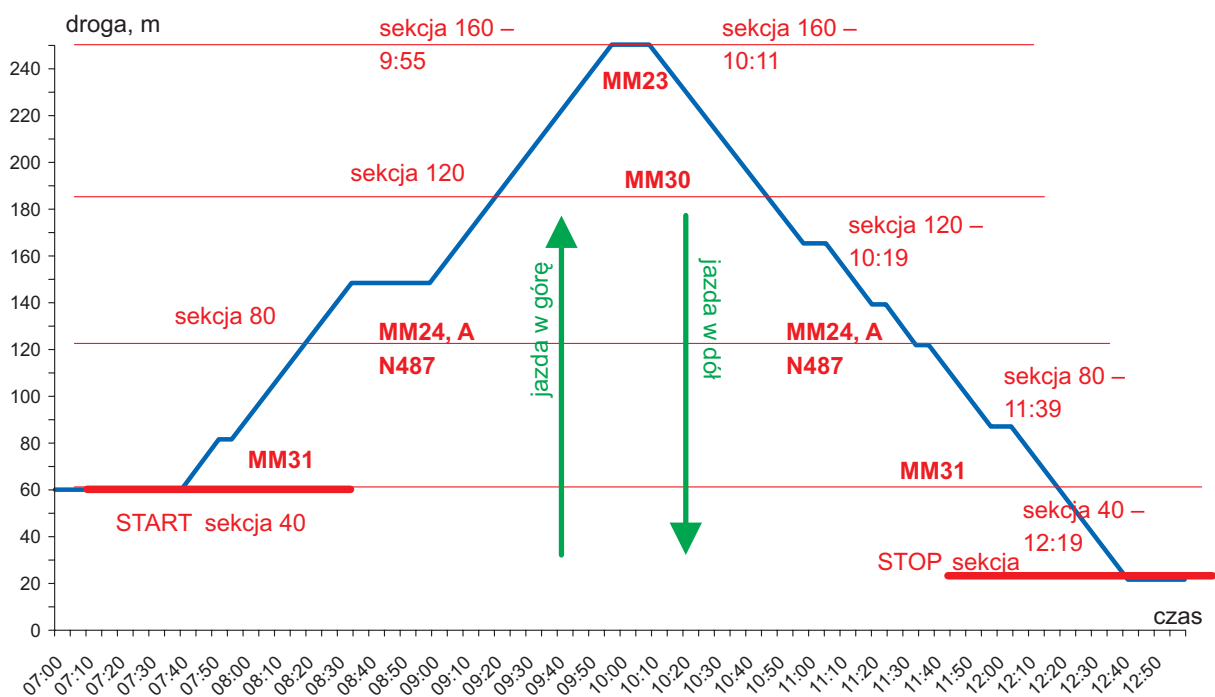
Rys. 6. Lokalizacja czujników i stanowisk pomiarowych w rejonie ściany B-6 pokł. 358/1

W czasie eksperymentu kombajn wykonał blisko dwa skrawki w kierunku „do góry” a następnie „na dół”. W momencie rozpoczęcia eksperymentu tzn. około godziny 7:20 kombajn znajdował się „na dole” (sekcja 40) i ruszył około godziny 7:40 w kierunku „do góry” przejeżdżając kolejno obok 80 sekcji około godziny 8:15, oraz minął sekcję 120 około 9:30. Około godziny 9:57 kombajn zakończył skrawki w górnej części ściany, a obsługa rozpoczęła „przekładkę” w górnej wnęce, aby około godziny 11:00 ruszyć „na dół”. W czasie jazdy „na dół” nastąpiły cztery krótkie przerwy i około godziny 12:40 kombajn zjechał „na dół”. Czas pracy kombajnu oraz przenośnika ścianowego rejestrowano w systemie ZEFIR za pomocą dwustanowowego czujnika prądu (praca/postój). Czasy podawane przez obserwatorów w ścianie (Tablica 4) oraz czas rejestracji w systemie ZEFIR próbowano zsynchronizować, ale możliwe były pewne niezgodności.

Tab. 4. Zmiany prędkości powietrza zarejestrowane przez obserwatorów w ścianie B-6 pokł. 358/111

Miejsce obserwacji	Prędkość powietrza	Czas przejazdu kombajnu
SEKCJA 30	3,79 m/s	7,15
SEKCJA 40	4,44 m/s	7,50
SEKCJA 50	3,56 m/s	7,58
SEKCJA 70	2,80 m/s	8,14
SEKCJA 80	3,50 m/s	8,17
SEKCJA 90	2,50 m/s	8,25
SEKCJA 110	3,96 m/s	9,25
SEKCJA 120	4,80 m/s	9,30
SEKCJA 130	4,86 m/s	9,37
CHODNIK B-6	4,33m/s	7,45

Na podstawie rejestracji czasu pracy kombajnu w systemie ZEFIR oraz znanej drogi przebytej przez kombajn w czasie urabiania oszacowano prędkość ruchu kombajnu w kierunku z dołu do góry jako $v = 0,026$ m/s, natomiast w kierunku z góry na dół jako $v = 0,028$ m/s. Na tej podstawie wyznaczono położenie kombajnu i przebytą drogę w ścianie (rys. 8).



Rys. 8. Zmiana położenia kombajnu w ścianie B-6 w czasie eksperymentu 13.06.2007

4. Rejestracje parametrów powietrza w ścianie B-6 pokład 358/1

W czasie eksperymentu, który przeprowadzono w ścianie B-6 w czasie normalnej eksploatacji (zmiana A w dniu 13.06.2007 rok), prowadzono rejestracje parametrów powietrza z wykorzystaniem specjalistycznej aparatury przenośnej oraz czujników systemu metanometrii automatycznej.

Rejestrację ciśnienia bezwzględnego powietrza prowadzono na powierzchni kopalni oraz w sześciu punktach w rejonie ściany B-6 z użyciem specjalistycznych cyfrowych mierników ciśnienia typu μBar . Rozmieszczenie mierników w rejonie ściany B-6 pokł. 358/1 pokazano na schemacie (rys. 6), a ich lokalizację podano w tabelicy 5. Ciśnienie powietrza było rejestrowane w cyklu 2 sekundowym.

Tab. 5. Parametry i lokalizacja punktów rejestracji ciśnienia bezwzględnego

Punkt pomiarowy	Numer czujnika	Lokalizacja – miejsce pomiaru
P1	B19	chodnik B-5 – 100 m na wschód od pochylni transportowej
P5	B22	chodnik B-6 – 100 m na wschód od pochylni transportowej
P2	B20	ściana B-6 – sekcja nr 120
P3	B28	ściana B-6 – w połowie ściany – sekcja nr 80
P4	B24	ściana B-6 – sekcja nr 40
P6	B21	chodnik B-6, 15 m na zachód od pochylni wentylacyjnej płd. A
P _{pow}	B25	powierzchnia – zrąb szybu

Ponadto w czasie eksperymentu prowadzono rejestrację parametrów powietrza na stanowiskach pomiarowych, w tym prędkości powietrza oraz stężenia metanu w ścianie oraz wyrobiskach przyległych za pomocą urządzeń kopalnianego systemu automatycznej metanometrii. Rozmieszczenie czujników pokazano na schemacie (rys. 6), a ich lokalizację podano w tablicy 6. Parametry powietrza w systemie były rejestrowane w cyklu 2 sekundowym.

Tab. 6. Lokalizacja metanomierzy i anemometrów w rejonie ściany B-6 pokł. 358/1

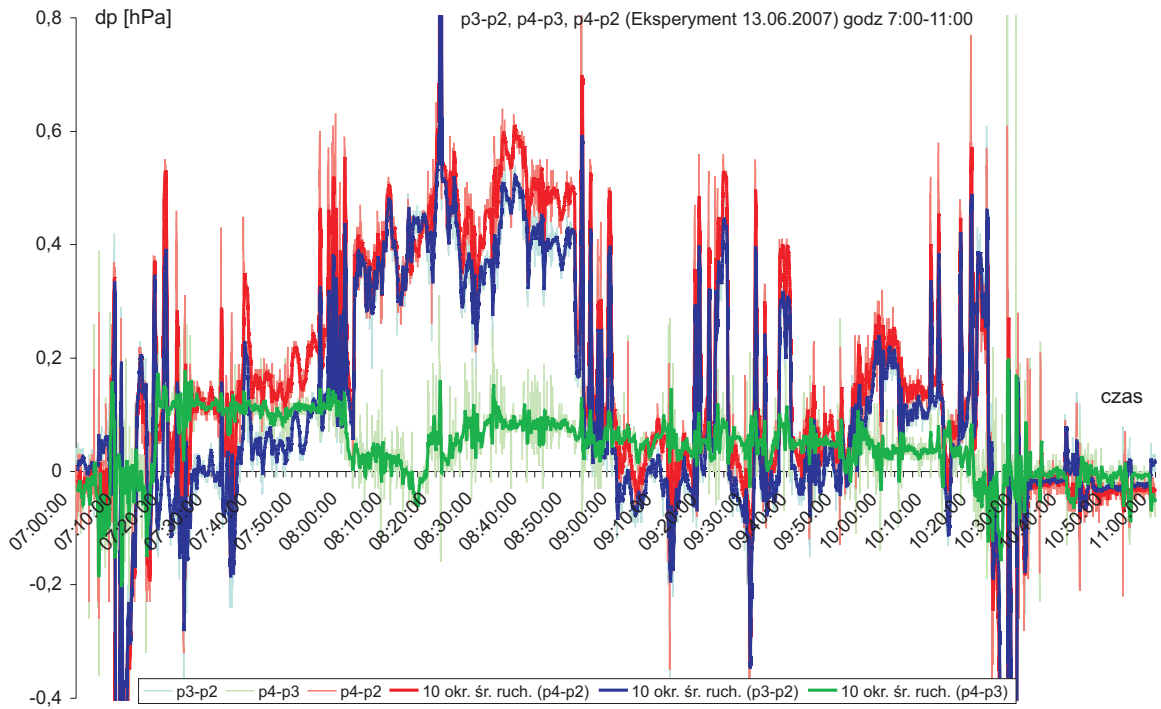
Metanomierze	
MM23	Ściana B-6 – w odległości do 2 m od chodnika B-5
MM30	Ściana B-6 – 60 m od chodnika B-5, sekcja nr 120,
MM24	Ściana B-6 – 1/2 długości ściany – sekcja nr 82
MM31	Ściana B-6 – 60m od chodnika B-6, sekcja nr 40,
MM25	Ściana B-6 – w odległości 2 m od chodnika B-6,
MM28	Chodnik B-6 – 50 m od pochylni transportowej, doświeżanie wylot ściany B-6
MM26	Chodnik B-6 – około 10 m za ścianą B-6, na wschód od linii zrobów,
MM29	Chodnik B-6 – 15 m na zachód od rozczinki rozruchowej ściany B-7,
MM27	Chodnik B-6 – 15 m na wschód od miejsca rozpoczęcia biegu ściany B-5
Anemometry	
AS341	Chodnik B-5 – w odległości 50m na wschód od pochylni transportowej,
AS490	Chodnik B-6 – w odległości 50m na wschód od pochylni transportowej,
AS487	Ściana B-6 – w odległości około 120m od chodnika B-6,
AS481	Chodnik B-6 – w odległości 15m na wschód od rozpoczęcia biegu ściany B-6

Rejestracje ciśnienia w rejonie ściany B-6 pokł. 358/1

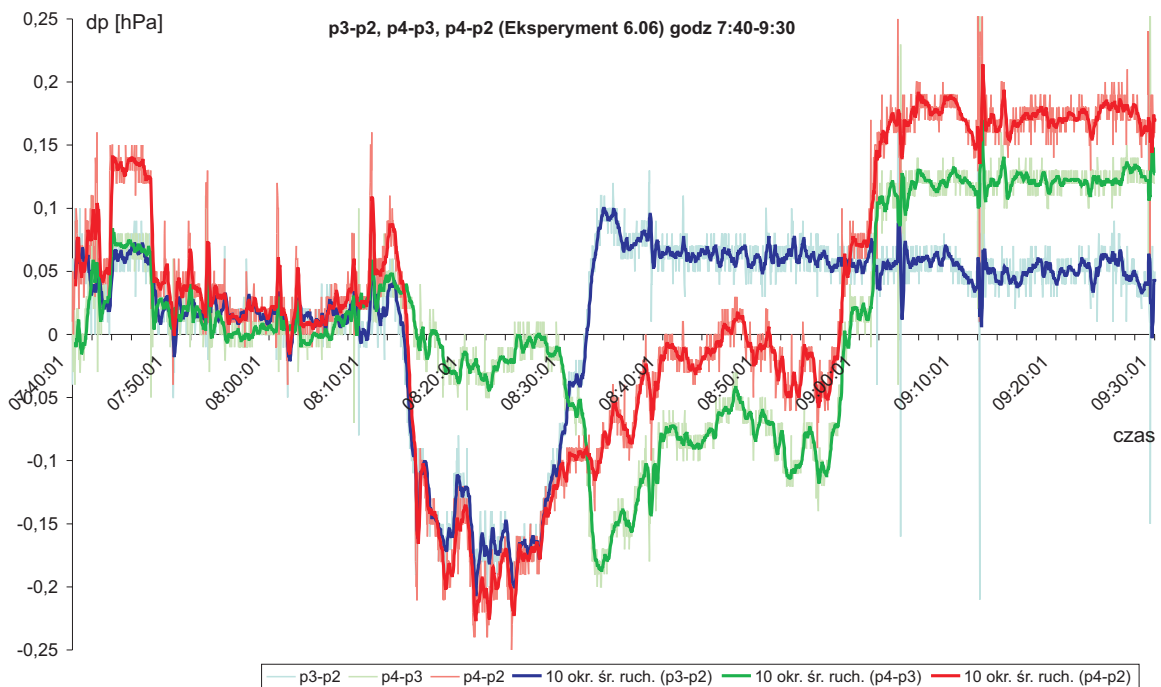
Ciśnienie powietrza rejestrowane w rejonie ściany B-6 w czasie eksperymentu ulegało znacznym chwilowym wahaniom. Obserwacje pokazują, że znaczna część tych zaburzeń przenosiła się od strony wlotu (p_1) do ściany B-6. Dodatkowo rejestracja ciśnienia na powierzchni kopalni pokazała, że w czasie eksperymentu (od 7:00 do 12:00 w dniu 13.06.2007 roku) ciśnienie barometryczne wzrosło o około 100 Pa. Aby w obserwacjach zmian ciśnienia w ścianie ograniczyć się tylko do tych wywołanych ruchem kombajnu (ruchomej przeszkody) i wyeliminować zaburzenia poza ścianą, wyznaczono różnice ciśnień $\Delta p = p_i - p_j$ na poszczególnych odcinkach ściany tzn. w górnej części ściany ($p_4 - p_3$), w dolnej części ściany ($p_3 - p_2$) oraz w całej ścianie ($p_4 - p_2$).

Wpływ jazdy kombajnu na rozkład ciśnienia w ścianie pokazano na rysunku 9 dla jazdy kombajnu do góry oraz na rysunku 10 dla jazdy kombajnu w dół. Dla jazdy w górę pod prąd powietrza przewietrzającego ścianą widać wyraźnie duże zaburzenia różnicy ciśnień w ścianie. W tym przypadku zmieniała się najpierw różnica ciśnienia w dolnej części ściany $p_4 - p_3$, (linia zielona), a wzrastała powoli różnica ciśnienia w całej ścianie $p_4 - p_2$ (linia czerwona). Po godzinie 8:20, kiedy kombajn wjeżdżał w górną część ściany (minął sekcję 80) zmieniała się różnica ciśnienia w tej części ściany $p_3 - p_2$ (linia niebieska).

Interesujący przebieg różnicy ciśnień zarejestrowano również w czasie jazdy kombajnu na dół (rys. 10). Widać, że kiedy kombajn znajduje się w górnej części ściany zmieniają się różnice ciśnienia w tej części $p_3 - p_2$ (linia niebieska) oraz całej ścianie $p_4 - p_2$ (linia czerwona), natomiast nie ma to wpływu na różnicę ciśnień w dolnej części $p_4 - p_3$ (linia zielona). Dopiero kiedy kombajn minął środek ściany (sekcja 80) wystąpiły wyraźne zmiany różnicy ciśnienia w dolnej części $p_4 - p_3$ (linia zielona) oraz w całej ścianie $p_4 - p_2$ (linia czerwona) przy w miarę niezmienną różnicę ciśnień w górze ściany $p_3 - p_2$ (linia niebieska).

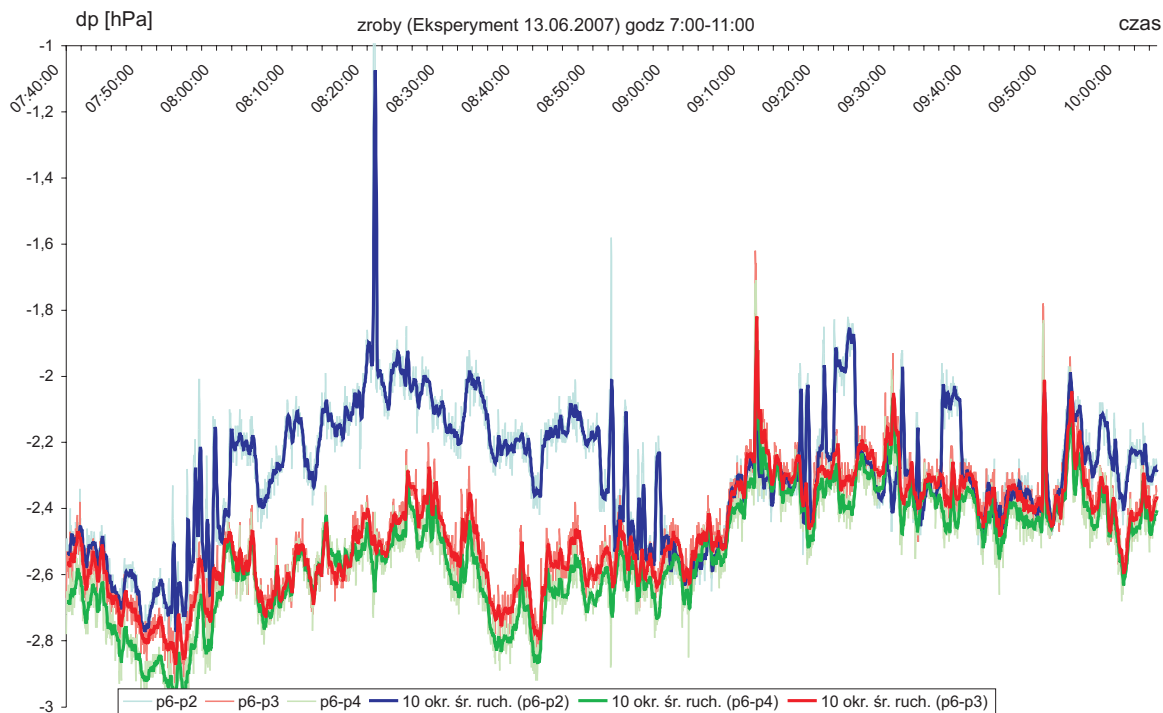


Rys. 9. Różnice ciśnień w ścianie B-6 pokł. 358/1 w czasie urabiania w górę



Rys. 10. Różnice ciśnień w ścianie B-6 pokł. 358/1 w czasie urabiania w dół

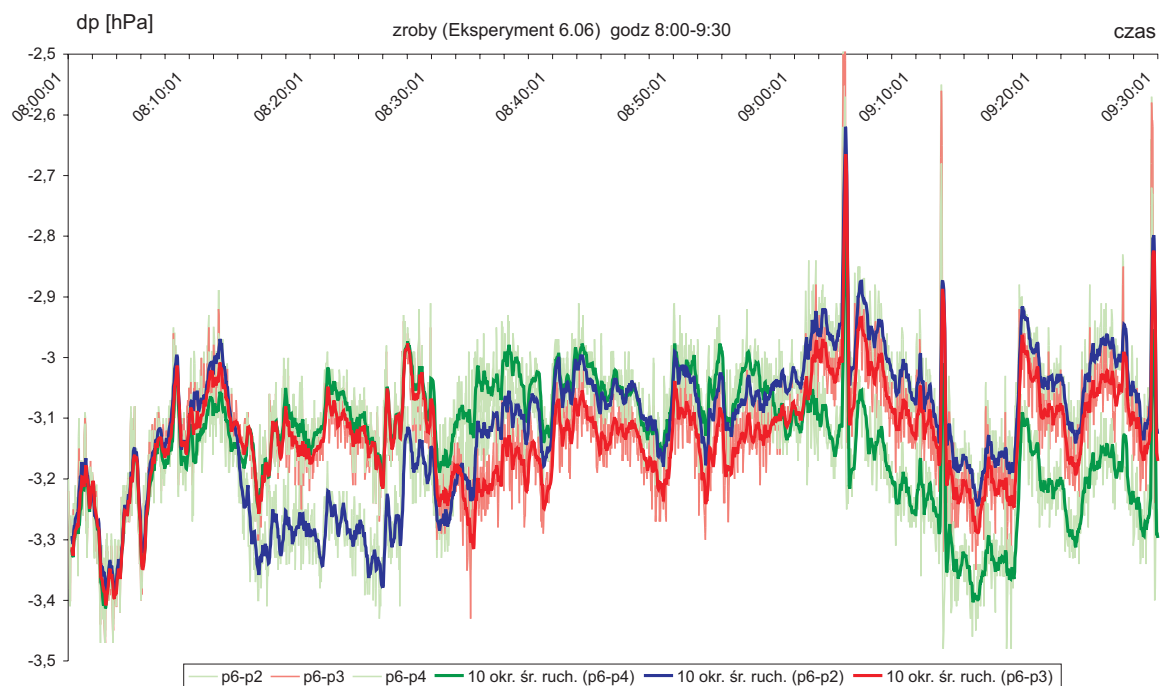
Na podstawie zarejestrowanych w rejonie ściany ciśnień wyznaczono również przebiegi różnicy ciśnień w zrobach (rys.11). Wyznaczając różnice ciśnień w zrobach wyznaczano je w stosunku do ciśnienia (p_6) w chodniku B-6 w pobliżu rozczinki ściany B-6 na zachód od pochylni wentylacyjnej (koniec zrobów). W ten sposób uzyskano różnice ciśnień $p_6 - p_2$, $p_6 - p_3$, $p_6 - p_4$. Widać wyraźnie wpływ położenia kombajnu na tak wyznaczone różnice ciśnień w zrobach. Szczególnie było to widoczne gdy kombajn był w dolnej części ściany (ruszał „do góry”) bo wówczas różnica ciśnienia pomiędzy górą ściany, a końcem zrobów $p_6 - p_2$ (linia niebieska) był wyraźnie mniejszy, aniżeli w środkowej $p_6 - p_3$ (linia czerwona) czy dolnej części



Rys. 11. Różnice ciśnień w zrobach ściany B-6 pokł. 358/1 w czasie urabiania w górę

$p_6 - p_4$ (linie zielona), w której właśnie znajdował się kombajn. Dopiero po godzinie 9:00 kiedy kombajn wjechał do górnej części ściany różnice ciśnień w ścianie były podobne. Takie przebiegi zmian różnicy ciśnień i wyraźne różnice przebiegów w zależności od strefy przebywania kombajnu mogą świadczyć o różnej przepuszczalności zrobów w różnych częściach ściany (góra-dół).

Interesujące są również przebiegi różnicy ciśnień w zrobach w czasie gdy kombajn zjeżdżał „na dół” (rys. 12). W początkowym okresie kiedy kombajn był „na górze” różnica ciśnienia w tej części ściany w stosunku do końca zrobów $p_6 - p_2$ (linia niebieska) była wyraźnie większa niż dla pozostałych części.



Rys. 12. Różnice ciśnień w zrobach ściany B-6 pokł. 358/1 w czasie urabiania w górę

Kiedy kombajn znalazł się w dolnej części to różnica ciśnienia pomiędzy tą częścią, a końcem zrobów $p_6 - p_4$ była wyraźnie największa (linia zielona).

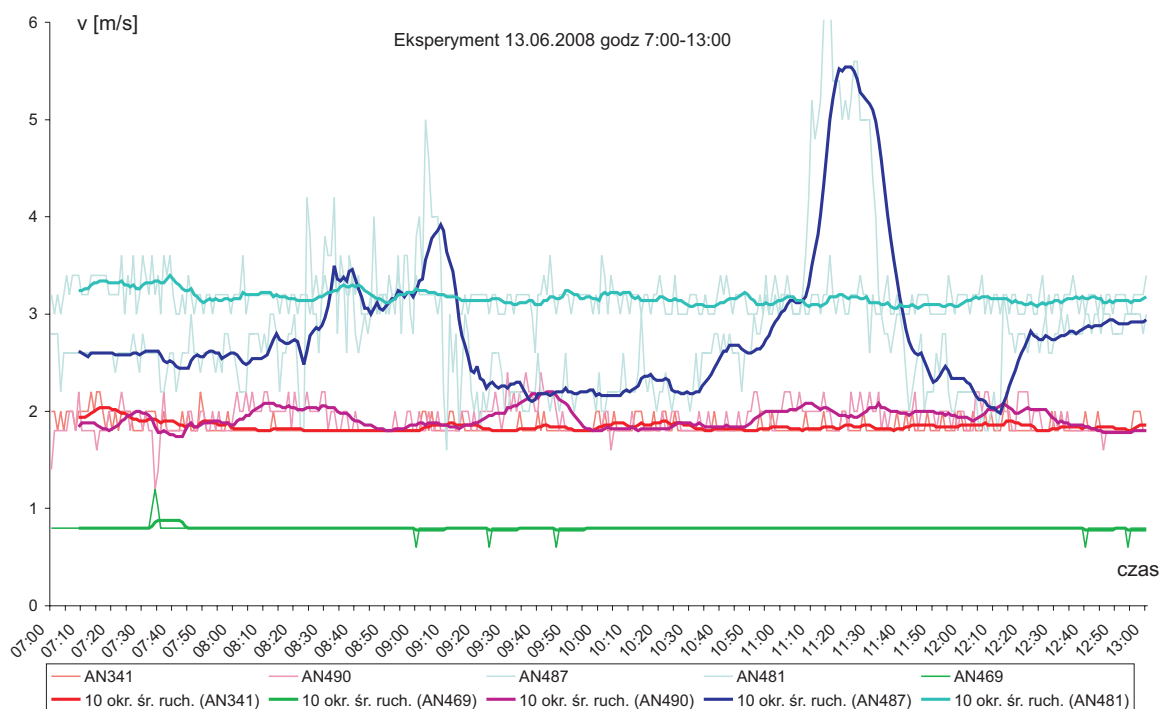
Podsumowując te obserwacje, można stwierdzić, że ruch kombajnu ma wpływ nie tylko na zaburzenia ciśnień w ścianie, ale również na rozkład ciśnień w zrobach. Ta uwaga jest interesująca ze względu na znaczną przestrzeń zrobów oraz prawdopodobnie zależy od przyjętego systemu przewietrzania ściany, ale wydaje się że wymaga dalszych obserwacji i badań.

Rejestracje prędkości powietrza w rejonie ściany B-6 pokł.358/1

Rejestrację rozplywu powietrza w rejonie ściany B-6 pokł.358/1 prowadzono za pomocą trzech anemometrów AN341, AN490 umieszczonych od strony wlotu do rejonu ściany oraz AN481 umieszczonego na wylocie z rejonu (rys. 6). Wszystkie anemometry były włączone do systemu automatycznej metanometrii. Dodatkowo na potrzeby eksperymentu w ścianie B-6 na wysokości 60 sekcji zabudowano anemometr AN487, który również włączono do systemu metanometrii automatycznej. Prędkości powietrza były rejestrowane w systemie w cyklu co 10 sekund.

W ogólnej ocenie można stwierdzić, że stan przewietrzania w rejonie ściany B-6 pokł. 358/1 był stabilny (rys. 13). Prędkość powietrza na wlocie do rejonu ściany AN341 (zasadniczy prąd przewietrzania ściany) utrzymywał się na niezmiennym poziomie. Podobnie prędkość powietrza AN490 w prądzie doświeżającym zużyte powietrze ze ściany B-6 była stabilna jedynie z minimalnymi fluktuacjami. W efekcie również prąd zużytego powietrza AN481 nie ulegał zmianom, a jedynie podlegał niewielkim, chwilowym fluktuacjom. Interesujący choć zgodny z oczekiwaniami przebieg prędkości powietrza zarejestrowano w ścianie B-6 pokł. 358/1, przez dodatkowy anemometr AN487 (rys. 13 – linia ciemno niebieska). Wyraźnie widoczne są zaburzenia prędkości powietrza w momencie przejazdu kombajnu w sąsiedztwie zabudowy anemometru. Zarejestrowane zmiany prędkości w przypadku jazdy kombajnu „do góry” (pod prąd przepływającego powietrza) wynoszą około 60% i trwają one około 1 godziny, natomiast w przypadku jazdy kombajnu „w dół” (zgodnie z przepływającym powietrzem) ten wzrost był nawet dwukrotny (100%) i trwał ponad pół godziny. Takie zaburzenia prędkości powietrza to „efekt ruchomej przeszkody” jaką jest niewątpliwie kombajn poruszający się w wyrobisku ścianowym przesłaniając przekrój czynny ściany wynoszący około $S = 6.5\text{m}^2$ o około 30% przekroju ściany.

Podsumowując, można stwierdzić, że tak silne zmiany prędkości powietrza w ścianie w momencie przejazdu kombajnu wyjaśniają zaburzenia przepływu obserwowane w długim czasie (rys. 2) z równocze-



Rys. 13. Prędkość powietrza w ścianie B-6 pokł. 358/1 w czasie urabiania w górę i dół

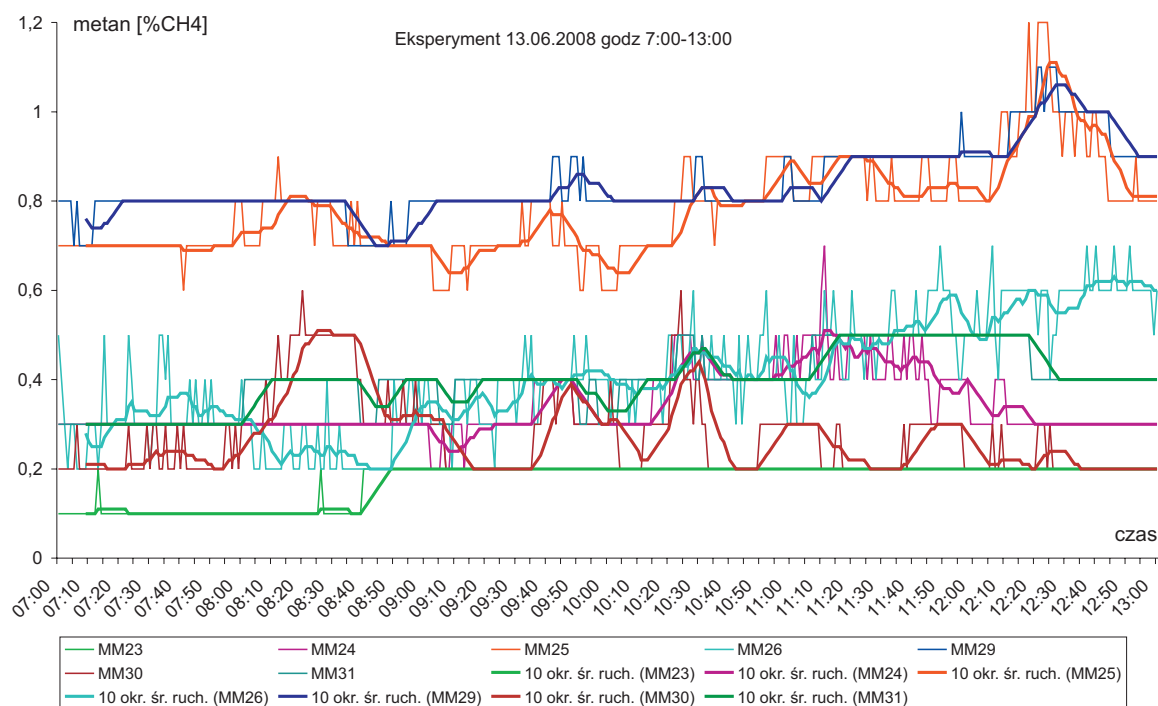
snym „gładkim” przebiegiem w okresach przerwy w wydobywaniu (sobota-niedziela). Z drugiej strony tak znaczne chwilowe wzrosty prędkości powietrza w momencie przejazdu kombajnu mogą mieć korzystny wpływ na efektywność mieszania metanu wydzielającego się w czasie urabiania. Równocześnie brak zmian prędkości powietrza na wlocie oraz wylocie rejonu ściany dowodzi, że zaburzenia przepływu w ścianie wywołane ruchem kombajnu, mają jedynie lokalny charakter i pozostają bez wpływu na warunki przewietrzania w rejonie ściany B-6 pokł. 358/1.

Rejestracja stężenia metanu w rejonie ściany B-6 pokł. 358/1

Stężenia metanu w rejonie ściany B-6 pokł. 358/1 monitorowano i kontrolowano w systemie automatycznej metanometrii, w którym sygnały były rejestrowane w cyklu co 2 sekundy. W okresie eksperymentu w rejonie ściany B-6 pokł. 358/1 zabudowanych było dziewięć metanomierzy o działaniu ciągłym, a ich rozmieszczenie pokazano na schemacie rys. 6, a lokalizację podano w tabelicy 6.

Jako zabezpieczenie metanometryczne ściany B-6 zastosowano sześć metanomierzy MM23, MM24, MM25, MM28, MM26 oraz MM29. Należy zauważyć, że z uwagi na duże zagrożenia metanowe w ścianach kopalni Budryk stosowano tam na ogół metanomierz w środku ściany. Podobne zabezpieczenie zastosowano w ścianie B-6, w której dodatkowy metanomierz MM24 zabudowano w połowie ściany (sekcja 82). Ponadto w czasie eksperymentu zabudowano dwa dodatkowe metanomierze MM30 (sekcja 120) oraz MM31 (sekcja 40), w ten sposób w czasie eksperymentu w ścianie było rozmieszczonych pięć metanomierzy (rys. 7), co jest ewenementem w warunkach zabezpieczeń metanometrycznych ścian w polskich kopalniach.

Dokonując analizy rejestracji metanu w ścianie B-6 pokł.358/1 (rys. 14) nietrudno zauważyć, że metanomierz MM23 zabudowany na wlocie do ściany w odległości do 2 m od chodnika B-5 w całym analizowanym okresie wykazywał stabilnie wartości $0,1 \pm 0,2\%$ CH_4 takie zmiany mieszczą się w granicach błędów metanomierza który wynosi $\pm 0,1\%$ CH_4 . Metanomierz MM30 zabudowany dodatkowo na czas eksperymentu w górnej części ściany na wysokości 120 sekcji (60m od chodnika B-5) rejestrował zmiany stężenia metanu w zakresie $0,2 \pm 0,5\%$ CH_4 w okresie kiedy kombajn urabiał w dolnej części ściany co trudno uznać jako efekt urabiania. Metanomierz MM24 zabudowany w środku ściany na wysokości sekcji 82 pokazywał systematyczny choć niewielki wzrost stężenia metanu od momentu kiedy kombajn przejechał obok metanomierza jadąc w górę oraz kiedy urabiał w górnej części ściany. Kolejny metanomierz MM31 zabudowany w dolnej części ściany na wysokości sekcji 40, tj. około 60 m od wylotu ściany (chodnika B-6) wskazywał niewielki wzrost stężenia metanu od poziomu $0,3\%$ CH_4 już od godziny 8:00, aby po godzinie 11:30 przekroczyć $0,4\%$ CH_4 .



Rys. 14. Stężenia metanu w ścianie B-6 pokład 358/1 w czasie urabiania w górę i dół

Metanomierz MM25 zlokalizowany na wylocie ściany B-6 w odległości 2m od chodnika B-6 rejestrował znacznie wyższe stężenia metanu aniżeli te zabudowane w ścianie powyżej. W czasie eksperymentu stężenie metanu na tym metanomierzu wzrastało od wartości 0,7% CH₄ w początkowym okresie (około 7:30) do wartości 1,1% CH₄ w czasie kiedy kombajn wykonując drugi skraw zjechał na dół (około 12:30). Taki przebieg potwierdza, że ten metanomierz rejestruje przyrost metanu w wyniku urabiania wzdłuż całej ściany. Metanomierz MM26 zabudowany w chodniku B-6 około 10 m za ścianą B-6 pokazał systematyczny wzrost stężenia metanu w czasie urabiania od wartości 0,2% CH₄ do 0,5% CH₄. Należy zauważyć, że wzrost ten był systematyczny i nie zależał od kierunku jazdy kombajnu. Ponieważ ten czujnik znajdował się poza ścianą w prądzie powietrza wylotowego doświeżanego przez 1300 m³/min powietrza stąd poziom stężenia metanu był niższy aniżeli rejestrowany na wylocie ze ściany przez metanomierz MM25.

Metanomierz MM29 zlokalizowany na wylocie z rejonu ściany B-6, około 15 m na zachód od rozci-naki rozruchowej ściany B-7 pokazał znacznie wyższy poziom stężenia metanu aniżeli metanomierz MM26, co może świadczyć, że wzdłuż chodnika B-6 prowadzonego wzdłuż zrobów ściany B-6, nastąpił znaczący przyrost stężenia metanu (dopływ metanu ze zrobów).

Porównując poziom stężenia metanu rejestrowane przez metanomieryze wzdłuż ściany można zaobserwować przyrost stężenia dla kolejnych metanomieryzy idąc od góry ściany (wlotu MM23) w kierunku do dołu (wylotu MM25). Równocześnie widoczne jest przesuwające się czoło wzrostu stężenia metanu w kierunku przepływu powietrza rejestrowane na czujnikach znajdujących się poniżej położenia kombajnu. Ta obserwacja jest niezależna od kierunku urabiania kombajnu. Przyrosty stężenia metanu są wynikiem sumowania się wydzielania metanu w czasie urabiania wzdłuż ściany.

5. Bilans metanu dla rejonu ściany B-6 pokład 358/1

Na podstawie przyjętego rozplywu powietrza w rejonie ściany B-6 oraz rejestrowanych w rejonie stężeń metanu na wlocie, w ścianie oraz wylocie ze ściany oszacowano wydatki metanu w tych punktach rejonu ściany gdzie były zabudowane metanomieryze systemu metanometrii automatycznej (Tablica 7).

Tab. 7. Wydatki metanu oszacowane w rejonie ściany B-6 pokł. 358/1

Metanomierz	Położenie	Średnie stężenie metanu	Wydatek powietrza m ³ /min	Wydatek metanu m ³ /min
MM23	Ściana B-6 wlot	0,15	1300	1,95
MM24	Ściana B-6 środek	0,35	1300	4,55
MM25	Ściana B-6 wylot	0,9	1300	11,7
MM28	Chodnik B-6 doświerzanie	0,25	1300	3,25
MM26	Chodnik B-6 za ścianą B-6	0,35	2600	9,1
MM29	Chodnik B-6 za zrobami	0,95	3200	30,4

Z powyższego oszacowania można wnioskować, że dopływ metanu w ścianie z odsłoniętej calizny oraz urobku na przenośniku wynosił średnio około 10m³/min czystego metanu, a maksymalnie nawet 13 m³/min. Mniejszy wydatek metanu oszacowany za ścianą (MM26) może być wynikiem niedostatecznego wymieszania powietrza ze ścianą z powietrzem doświerzającym. Dopływ metanu w chodniku B-6 od strony zrobów oszacowano średnio na blisko 20 m³/min, a maksymalnie nawet 25 m³/min czystego metanu.

6. Modele źródeł emisji metanu

Do strumienia powietrza przepływającego przez ścianę urabianą kombajnem dopływa metan z calizny węglowej ściany i z urobku na przenośniku ścianowym. Emisja metanu z urobku na przenośniku ma również miejsce w chodniku odstawczym. 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 Drzęzła 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 wypływ metanu już przed kombajnem. Wypływ ten zwiększa się w miarę zbliżania kombajnu do danego punktu. Natomiast emisja metanu z nowo odkrytej powierzchni urabianej ściany maleje z upływem czasu. Można zauważyć, że

zmierzone przebiegi prędkości wydzielania się metanu są bardziej zbliżone do przebiegu trójkątnego niż do przebiegów obliczonych z wzorów podanych przez Tarasowa i Kołmakowa. Przebieg trójkątny, pokazany w artykule Blecharz, Dziurzyńskiego, Kracha i Pałki (2003) charakteryzuje się małą liczbą parametrów. Są to: początkowy q_0 i maksymalny q_{\max} strumień objętości metanu z jednostki powierzchni calizny ściany, czas urabiania strefy spękań T_s i czas ustalania się emisji metanu po odsłonięciu nowej powierzchni calizny T_u . Czas urabiania strefy spękań T_s przy stałej prędkości kombajnu v_k i długości strefy spękań S_k jest równy:

$$T_s = \frac{S_k}{v_k} \quad (1)$$

Przyjmując, że w chwili t_x kombajn znajdzie się w odległości x od początku ściany, dla podanego modelu otrzymuje się następujące przebiegi prędkości emisji metanu tj. strumienia objętości metanu z jednostki powierzchni:

$$\begin{aligned} t < t_x - T_k &\Rightarrow q(t) = q_p \\ t_x - T_k \leq t < t_x &\Rightarrow q(t) = q_{\max} + \frac{q_{\max} - q_p}{T_k} (t - t_x), \\ t_x \leq t \leq t_x + T_u &\Rightarrow q(t) = q_{\max} - \frac{q_{\max} - q_p}{T_u} (t - t_x), \\ t_x + T_{ust} \leq t &\Rightarrow q(t) = q_p \end{aligned} \quad (2)$$

Poniżej podano przykładowe wartości liczbowe parametrów charakteryzujących przybliżony, trójkątny przebieg prędkości emisji metanu w strefie oddziaływania kombajnu, zaczerpnięte z pracy Tarasowa i Kołmakowa (1978):

przykład nr	1	2
zabior kombajnu [m]	1.6	0.5
długość strefy oddziaływania kombajnu [m]	20	10
prędkość kombajnu [m/s]	0.003	0.019
czas urabiania strefy oddziaływania kombajnu [s]	6667	526

przykład nr	1	2	3	4	5	6
początkowa prędkość emisji metanu [$*10^{-6}$ m/s]	5.8	7.8	3.5	6.2	7.0	1.8
maksymalna prędkość emisji metanu [$*10^{-5}$ m/s]	3.8	5.3	3.2	4.1	4.1	1.9
czas ustalania się emisji metanu [$*10^3$ s]	10.2	12.6	10.8	8.4	8.4	7.8

W artykule (Dziurzyński, Krach, Pałka, 2001) przedstawiono model odgazowania urobku na przenośniku z eksponencjalnym zmniejszaniem się strumienia objętości z jednostki długości urobku, oparty na wynikach pracy Dręzli i Badury (1980). Dokładniejszy model odgazowania pokruszonego węgla, oparty na pracy Airuni'ego (1987) i wykorzystujący dane zamieszczone w pracy Klebanowa (1974) oraz Kozłowskiego (1972) przedstawiono w artykule (Dziurzyński, Krach, 2001). 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 okrucu węgla. Objętość wydzielonego gazu z jednostki masy węgla w funkcji czasu t wyraża się wówczas wzorem:

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

gdzie:

- V_g – całkowita objętość desorbowanego gazu do chwili t ;
- V_0, τ_0 – objętość desorbowanego gazu i stała czasowa desorpcji z objętości cząstek sorpcyjnych;
- V_1, τ_1 – objętość sorbowanego gazu i stała czasowa desorpcji dla gazu zgromadzonego na powierzchni cząstek sorpcyjnych;

V_2, τ_2 – objętość sorbowanego gazu i stała czasowa desorpcji dla cząstek supersorpcyjnych;

V_3, τ_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:

$$G_g = \frac{dV_g}{dt} = \sum_{i=0}^3 G_i e^{-\frac{t}{\tau_i}} \quad \text{gdzie} \quad G_i = \frac{V_i}{\tau_i} \quad (4)$$

Można z zależności (4) obliczyć strumień masy metanu z jednostki długości urobku na przenośniku:

$$Q_{mp} = \rho_{\text{CH}_4} g_p \sum_{i=0}^3 G_i e^{-\frac{t}{\tau_i}} \quad (5)$$

gdzie:

ρ_{CH_4} – gęstość metanu,

g_p – gęstość liniowa węgla na przenośniku.

Stała czasowa τ_0 jest rzędu wielu dób, τ_1 jest rzędu godzin, τ_2 jest rzędu dziesiątek minut, a τ_3 jest rzędu minut. Zarówno stałe czasowe τ_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 τ_1 mieszczą się w granicach od 2h do 3h, wartości τ_2 od 20 do 23 minut, a wartości τ_3 od 2.3 do 2.5 minut.

Na podstawie przytoczonych modeli wyprowadzono związki, opisujące emisję metanu dla danego czasu i danej odległości od początku ściany dla metanu z calizny i dla metanu z urobku na przenośniku ścianowym oraz na przenośniku w chodniku transportowym, przedstawione w artykule Blecharz, Dziurzyńskiego, Kracha i Pałki (2003). Wymienione związki przyjęto przy następujących założeniach:

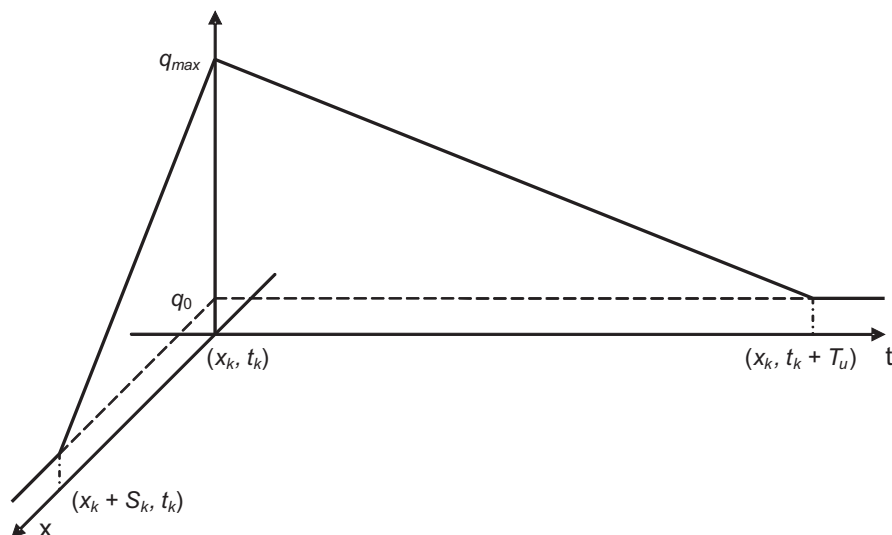
- Kombajn pracuje cyklicznie, przy czym cykl T_c kombajnu składa się z okresu urabiania T_u oraz z okresu T_p postoju i powrotu kombajnu do położenia na początku ściany, $T_c = T_u + T_p$.
- Kombajn urabia ścianę o długości L_s ze stałą prędkością ruchu v_k .
- Urabiany węgiel transportowany jest przenośnikiem 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 i podjęto próby jego walidacji (Dziurzyński, Krach, Krawczyk, Pałka 2005, 2007) oraz (Dziurzyński, Krach, Pałka, Wasilewski, 2007).

W praktyce kombajn porusza się ze zmienną prędkością, zależną od aktualnych warunków, może mieć przestoje i może urabiać w obydwu kierunkach ruchu wzdłuż ściany a w chwili postoju kombajnu mogą się również zatrzymywać przenośniki. Stąd wynikła konieczność opracowania nowego modelu, uwzględniającego taki ruch kombajnu i przenośników. Dla calizny ściany urabianej kombajnem przyjęto pokazany na rysunku 15 model emisji metanu.

Rozkład i przebieg prędkości emisji metanu, pokazane na rysunku, opisują następujące związki:

$$\begin{aligned} (t = t_k) \wedge (x > x_k + S_k) &\Rightarrow q_{\text{CH}_4} = q_0 \\ (t = t_k) \wedge (x_k \leq x \leq x_k + S_k) &\Rightarrow q_{\text{CH}_4} = q_{\text{max}} - \frac{q_{\text{max}} - q_0}{S_k} (x - x_k) \\ (x = x_k) \wedge (t > t_k + T_u) &\Rightarrow q_{\text{CH}_4} = q_0 \\ (x = x_k) \wedge (t_k \leq t \leq t_k + T_u) &\Rightarrow q_{\text{CH}_4} = q_{\text{max}} - \frac{q_{\text{max}} - q_0}{T_u} (t - t_k) \end{aligned} \quad (6)$$

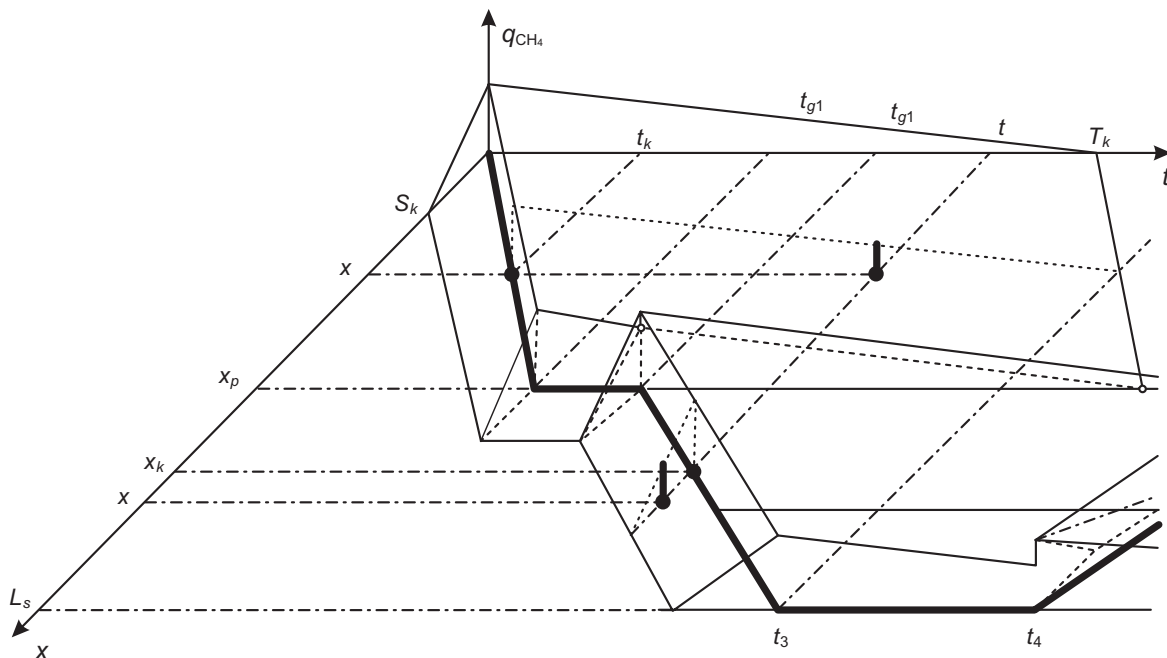


Rys. 15. Zmiana gęstości strumienia objętości metanu z calizny ściany przed kombajnem (oś x) i z odsłoniętej nowej powierzchni calizny za kombajnem (oś t).

Oznaczenia:

- x_k – położenie kombajnu w ścianie w chwili t_k ,
- S_k – długość strefy spękań przed kombajnem,
- T_u – czas ustalania się emisji metanu po odsłonięciu nowej powierzchni calizny ściany,
- q_{max} – największa wartość gęstości strumienia metanu przy urabianiu
- q_0 – ustalona wartość gęstości strumienia metanu z odkrytej nowej powierzchni calizny ściany po czasie T_u

Z przyjętego opisu emisji metanu z calizny węglowej ściany wynikają następujące zależności przestrzenno czasowe emisji metanu przy urabianiu, pokazane na rysunku 16.



Rys. 16. Rozkład gęstości strumienia objętości metanu z calizny ściany urabianej kombajnem ze zmienną prędkością ruchu kombajnu i okresami postoju. Linia pogrubioną wykreślono trajektorię ruchu kombajnu

Oznaczenia:

- L_s – długość ściany,
- x_k – położenie kombajnu w chwili t ,
- t_k – czas, po jakim kombajn osiągnie położenie x
- x_p – położenie zatrzymania i postoju kombajnu w czasie od t_1 do t_2 ,
- t_3 – czas zatrzymania kombajnu na końcu ściany i postój do chwili t_4 ,
- t_4 – chwila rozpoczęcia urabiania przy ruchu powrotnym kombajnu,

Z rysunków wynikają następujące zależności na gęstości strumienia objętości metanu z ściany:

- Urabianie przy ruchu kombajnu w górę ściany ($v_k > 0$)

$$\begin{aligned}
 (x < x_k) \wedge (t \leq t_k + T_k) &\Rightarrow q_{\text{CH}_4} = q_{\text{max}} - \frac{q_{\text{max}} - q_0}{T_k} (t - t_k) \\
 (x < x_k) \wedge (t > t_k + T_k) &\Rightarrow q_{\text{CH}_4} = q_0 \\
 (x_k \leq x \leq x_k + S_k) &\Rightarrow q_{\text{CH}_4} = \max \left[q_{\text{CH}_4 p}(x), q_{\text{max}} - \frac{q_{\text{max}} - q_0}{S_k} (x - x_k) \right] \\
 (x > x_k + S_k) &\Rightarrow q_{\text{CH}_4} = \max [q_{\text{CH}_4 p}(x), q_0]
 \end{aligned} \tag{7}$$

- Postój kombajnu ($v_k = 0$) ($x_k = x_p$), ($t_k = t_{g1}$), ($t_{g1} \leq t \leq t_{g2}$),

$$\begin{aligned}
 (x < x_k) \wedge (t \leq t_k + T_k) &\Rightarrow q_{\text{CH}_4} = q_{\text{max}} - \frac{q_{\text{max}} - q_0}{T_k} (t - t_k); \\
 (x < x_k) \wedge (t > t_k + T_k) &\Rightarrow q_{\text{CH}_4} = q_0 \\
 (x = x_k) &\Rightarrow q_{\text{CH}_4} = q_p; \quad q_p = q_{\text{max}} - \frac{q_{\text{max}} - q_0}{T_k} (t - t_k); \\
 (x_k < x \leq x_k + S_k) &\Rightarrow q_{\text{CH}_4} = \max \left[q_{\text{CH}_4 p}(x), q_{\text{max}} - \frac{q_p - q_0}{S_k} (x - x_k) \right] \\
 (x > x_k + S_k) &\Rightarrow q_{\text{CH}_4} = \max [q_{\text{CH}_4 p}(x), q_0]
 \end{aligned} \tag{8}$$

- Urabianie przy ruchu kombajnu w dół ściany ($v_k < 0$)

$$\begin{aligned}
 (x > x_k) \wedge (t \leq t_k + T_k) &\Rightarrow q_{\text{CH}_4} = q_{\text{max}} - \frac{q_{\text{max}} - q_0}{T_k} (t - t_k) \\
 (x > x_k) \wedge (t > t_k + T_k) &\Rightarrow q_{\text{CH}_4} = q_0 \\
 (x_k \geq x \geq x_k - S_k) &\Rightarrow q_{\text{CH}_4} = \max \left[q_{\text{CH}_4 p}(x), q_{\text{max}} + \frac{q_{\text{max}} - q_0}{S_k} (x - x_k) \right] \\
 x < x_k - S_k &\Rightarrow q_{\text{CH}_4} = \max [q_{\text{CH}_4 p}(x), q_0]
 \end{aligned} \tag{9}$$

- Postój kombajnu ($v_k = 0$) ($x_k = x_p$), ($t_k = t_{d1}$), ($t_{d1} \leq t \leq t_{d2}$),

$$\begin{aligned}
 (x > x_k) \wedge (t \leq t_k + T_k) &\Rightarrow q_{\text{CH}_4} = q_{\text{max}} - \frac{q_{\text{max}} - q_0}{T_k} (t - t_k) \\
 (x > x_k) \wedge (t > t_k + T_k) &\Rightarrow q_{\text{CH}_4} = q_0 \\
 (x = x_k) &\Rightarrow q_{\text{CH}_4} = q_p; \quad q_p = q_{\text{max}} - \frac{q_{\text{max}} - q_0}{T_k} (t - t_k) \\
 x_p > x \geq x_p - S_k &\Rightarrow q_{\text{CH}_4} = \max \left[q_{\text{CH}_4 p}(x), q_{\text{max}} + \frac{q_p - q_0}{S_k} (x - x_p) \right] \\
 x < x_p - S_k &\Rightarrow q_{\text{CH}_4} = \max [q_{\text{CH}_4 p}(x), q_0]
 \end{aligned} \tag{10}$$

W powyższych zależnościach wielkość $q_{\text{CH}_4 p}(x)$ jest to prędkość emisji metanu określona dla poprzedniego cyklu urabiania

$$\begin{aligned}
 t \leq t_{kp} + T_k &\Rightarrow q_{\text{CH}_4 p}(x) = q_{\text{max}} - \frac{q_{\text{max}} - q_0}{T_k} (t - t_{kp}) \\
 t > t_{kp} + T_k &\Rightarrow q_{\text{CH}_4 p}(x) = q_0
 \end{aligned} \tag{11}$$

gdzie t_{kp} – czas, po jakim kombajn osiągnął położenie x w poprzednim cyklu urabiania.

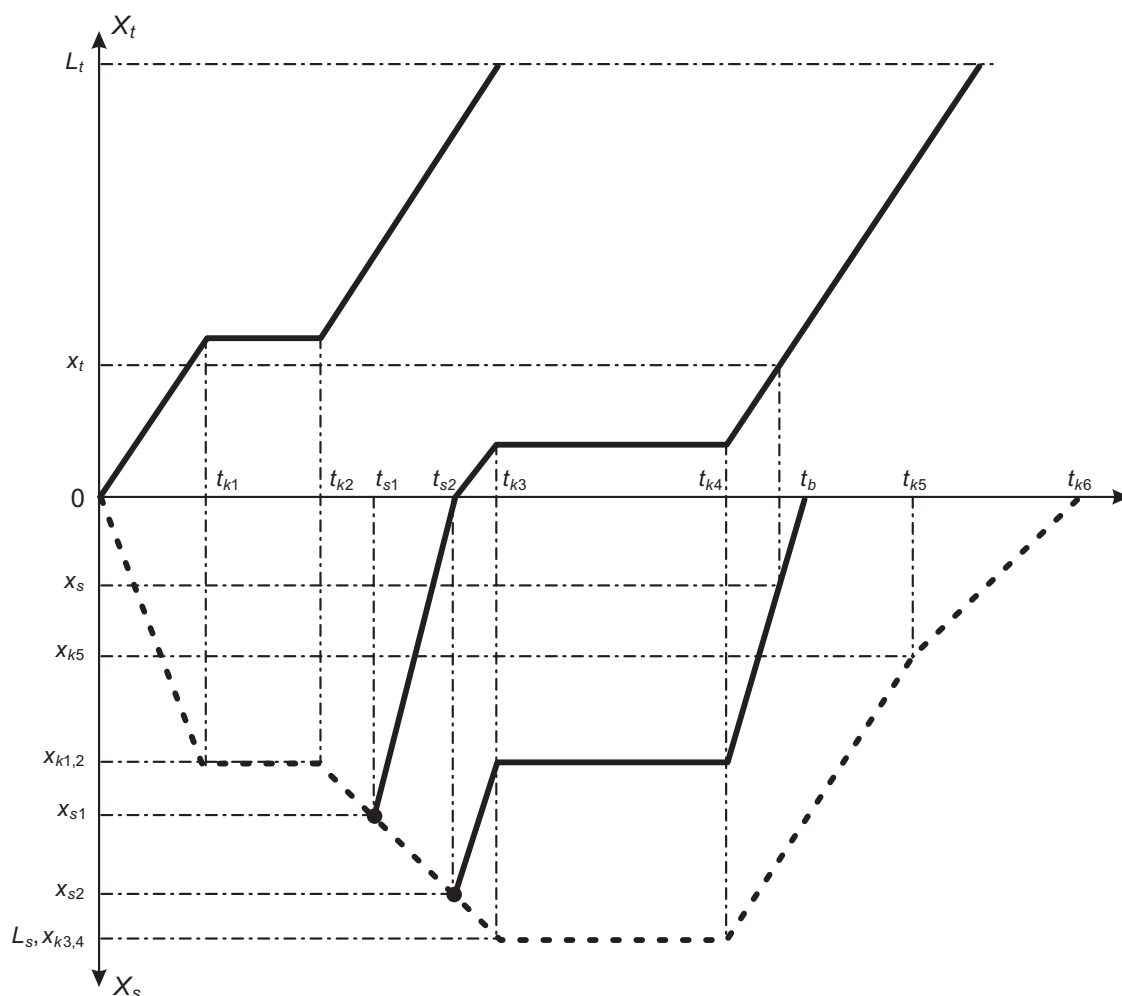
Dla pierwszego cyklu urabiania

$$q_{\text{CH}_4 p}(x) = q_0 \quad (12)$$

Przyjmując, że wysokość urabianego pokładu jest równa H , strumień objętości metanu z jednostki długości ściany wynosi:

$$Q_{\text{CH}_4 ks}(x, t) = Hq_{\text{CH}_4} \quad (13)$$

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_b , a na przenośniku w chodniku transportowym w odległości x_t od początku ściany i również w chwili t_b , można wyznaczyć z rysunku 17.



Rys. 17. Trajektorie ruchu kombajnu i urobku na przenośniku ścianowym i na przenośniku w chodniku transportowym

Oznaczenia:

- linia kropkowa – trajektoria ruchu kombajnu,
- linia ciągła – trajektorie ruchu elementu urobku na przenośnikach,
- $t_{k1}, t_{k2}, t_{k3}, t_{k4}, t_{k5}$ – chwile zmiany prędkości kombajnu,
- x_{s1}, t_{s1} – miejsce i czas urobienia węgla, który w chwili t_b znajdzie się na przenośniku w chodniku odstawkowym w odległości x_t od ściany,
- x_{s2}, t_{s2} – miejsce i czas urobienia węgla, który w chwili t_b znajdzie się na przenośniku ścianowym w odległości x_s od początku ściany,
- L_t – długość chodnika odstawkowego,
- L_s – długość ściany.

Przyjęto tu założenie, że w chwili zatrzymania kombajnu zatrzymują się również przenośniki.

Czas transportu na przenośniku ścianowym elementu urobku znajdującego się w chwili t_b w odległości x_s od początku ściany:

$$\tau_s = t_b - t_s \quad (14)$$

gdzie t_s jest to czas urobienia rozpatrywanego elementu urobku obliczany z równania:

$$x_k(t_s) = x_s(t_s) \quad (15)$$

gdzie

$x_k(t)$ – trajektoria ruchu kombajnu

$x_s(t)$ – trajektoria ruchu urobku na przenośniku ścianowym przechodząca przez punkt o współrzędnych (x_s, t_b) .

Czas transportu na przenośniku ścianowym elementu urobku znajdującego się w chwili t_x na początku ściany:

$$\tau_{s0} = t_x - t_{s0} \quad (16)$$

gdzie t_{s0} jest to czas urobienia rozpatrywanego elementu urobku obliczany z równania

$$x_k(t_{s0}) = x_{s0}(t_{s0}) \quad (17)$$

gdzie $x_{s0}(t)$ – trajektoria ruchu urobku na przenośniku ścianowym przechodząca przez punkt o współrzędnych $(0, t_x)$

Czas transportu na przenośniku w chodniku odstawczym elementu urobku znajdującego się w chwili t_b w odległości x_t od ściany

$$\tau_{t0} = t_b - t_x \quad (18)$$

gdzie t_x jest to czas, w którym element urobku był na początku przenośnika, obliczany z równania

$$x_t(t_x) = 0 \quad (19)$$

gdzie $x_t(t_x)$ – trajektoria ruchu elementu urobku na przenośniku przechodząca przez punkt o współrzędnych (x_t, t_b) .

Czas transportu elementu urobku na przenośnikach od chwili urobienia do chwili osiągnięcia pozycji x_t w chodniku transportowym jest równy

$$\tau_t = \tau_{t0} + \tau_{s0} \quad (20)$$

Gęstość liniowa urobku na przenośniku ścianowym przy zgodnych kierunkach ruchu kombajnu i przenośnika ścianowego wynosi:

$$g_s = \rho_w z H \frac{v_k(t_s)}{v_s - v_k(t_s)} \quad (21)$$

Gęstość liniowa urobku na przenośniku ścianowym przy przeciwnych kierunkach ruchu kombajnu i przenośnika ścianowego jest równa:

$$g_s = \rho_w z H \frac{v_k(t_s)}{v_s + v_k(t_s)} \quad (22)$$

gdzie

ρ_w – gęstość urabianego węgla,

z – zabiór kombajnu,

H – wysokość zabioru,

$v_k(t_s)$ – prędkość kombajnu w chwili t_s ,
 v_s – prędkość przenośnika ścianowego.

Gęstość liniowa urobku na przenośniku w chodniku transportowym:

$$g_t = g_s \frac{v_s}{v_t} \quad (23)$$

gdzie v_t – prędkość przenośnika w chodniku transportowym.

Strumień objętości metanu z jednostki długości urobku na przenośniku ścianowym:

$$Q_{CH_4 ps} = g_s \sum_{i=0}^3 G_i \exp\left(\frac{\tau_s}{\tau_i}\right) \quad (24)$$

Strumień objętości metanu z jednostki długości urobku na przenośniku transportowym:

$$Q_{CH_4 pt} = g_t \sum_{i=0}^3 G_i \exp\left(\frac{\tau_t}{\tau_i}\right) \quad (25)$$

Sumaryczny strumień objętości metanu dopływający do powietrza w jednostce długości ściany:

$$Q_{CH_4 s} = Q_{CH_4 ks} + Q_{CH_4 ps} \quad (26)$$

gdzie $Q_{CH_4 ks}$ – strumień objętości metanu dopływający z calizny urabianej ściany.

Ponieważ przedstawiony tu model emisji metanu z calizny ściany urabianej kombajnem i z urobku na przenośnikach jest tylko pewnym przybliżeniem zjawisk zachodzących w rzeczywistości, konieczne jest sprawdzenie, w jakim stopniu wyniki symulacji zmian stężenia metanu w rejonie ściany, otrzymane z zastosowaniem tego modelu, przybliżają rzeczywiste wartości stężenia metanu obserwowane przy eksploatacji ściany. Potwierdzenie wiarygodności wyników symulacji, czyli walidacja programu symulacyjnego, wymaga porównania zarejestrowanych w czasie eksperymentu pomiarowych 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. Zarówno wyniki symulacji jak i wyniki zarejestrowane w czasie eksperymentu mają postać szeregów czasowych (Otnes, Enochson, 1978). Jako miarę ich odległości, podobnie jak w przypadku walidacji poprzedniego modelu emisji metanu w ścianie urabianej kombajnem (Dziurzyński, Krach, Pałka, Wasilewski 2007) przyjęto unormowaną sumę kwadratów miary euklidesowej.

7. Walidacja modelu matematycznego, założenia i nowe procedury programu VentZroby

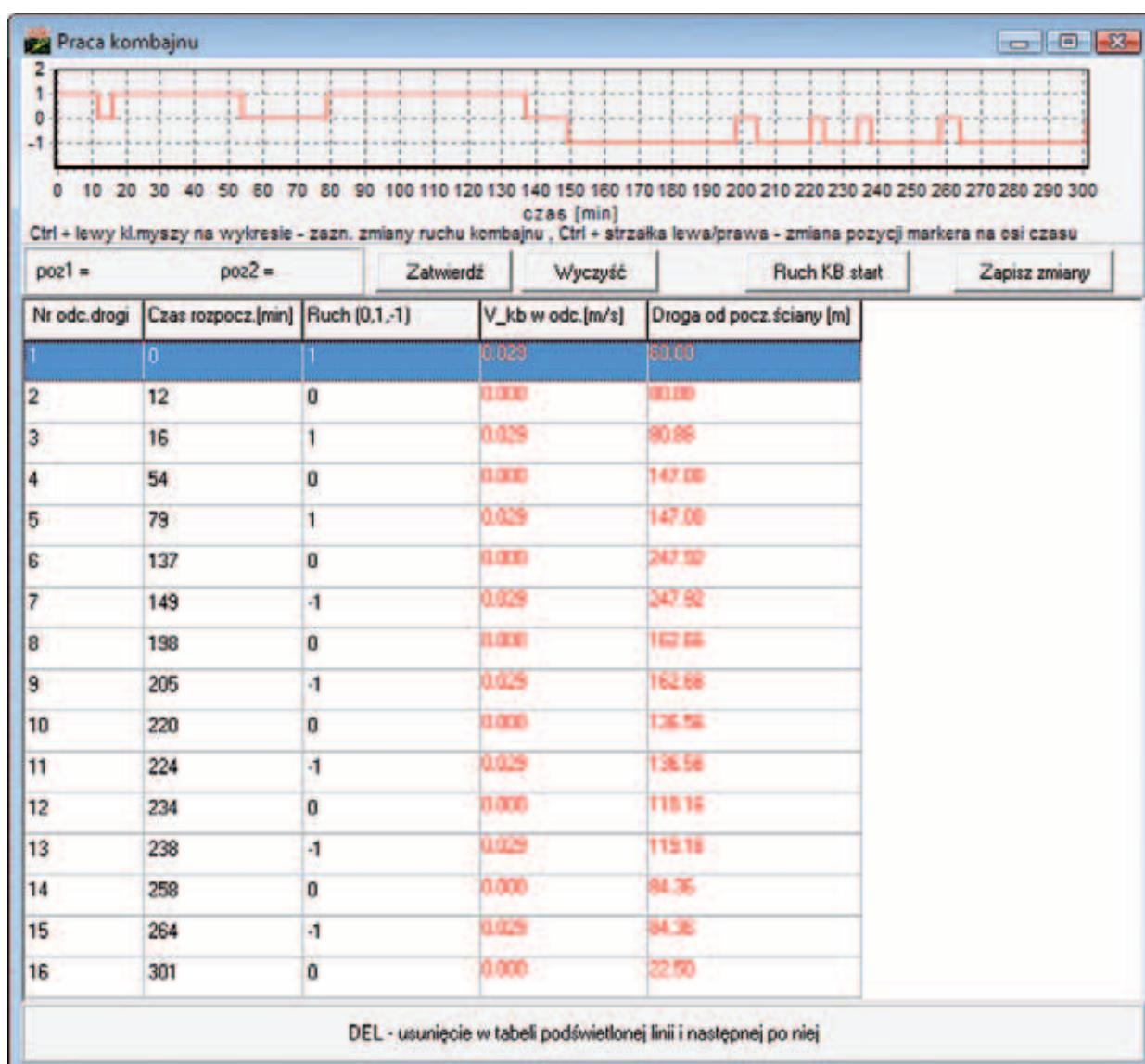
Walidacja modelu matematycznego przewietrzania kopalni stosowanego w programie *VentZroby* obejmuje porównanie zarejestrowanych przebiegów stężenia metanu mierzonych przez przyrządy pomiarowe systemu monitoringu z odpowiadającymi im przebiegami wielkości otrzymanych na drodze obliczeń numerycznych. Do oceny zastosowano miarę odległości danych z prognozy i danych z monitoringu w postaci sumy kwadratów różnic wartości zmierzonych i prognozowanych. W pracy (Dziurzyński W., Krach A. Krawczyk J., Pałka T., 2007) przedstawiono szczegóły zastosowanej metody, którą zmodyfikowano poprzez unormowanie do aktualnej wartości mierzonej przez czujnik systemu monitoringu (Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., Wasilewski St. 2007).

W ścianie B-6 pokład 358/1 porusza się kombajn, który urabia węgiel odsłaniając powierzchnię, z której desorbuje metan. W rozważanym przypadku rozpatruje się urabianie kombajnem dwustronne. W pierwszej fazie kombajn porusza się w kierunku do chodnika B-5, a po krótkim postoju rozpoczyna urabianie w kierunku chodnika B-6. Odstawa urobku w ścianie odbywa się zgodnie z kierunkiem przepływu powietrza, a odstawa w chodniku B-6 odbywa się pod prąd i dalej pochylnią transportową do szybu VI.

W rozdziale 6 przedstawiono model matematyczny pracy kombajnu w ścianie dla warunków wynikających z dwustronnego urabiania. Uwzględnienie w programie komputerowym równań i wzorów modelu matematycznego wymagało opracowania nowych algorytmów, które poddano weryfikacji. Istotnym nowym elementem programu komputerowego *VentZroby* algorytm pozwalający na dokładne odtworzenie harmonogramu jazdy kombajnem podczas urabiania. Zasadnicze cechy tego harmonogramu to:

- Zmienna prędkość ruchu kombajnu podczas urabiania w dwu kierunkach.
- Uwzględnienie przerw w pracy kombajnu (postój).
- Zmiany długość przebytej drogi między pracą kombajnu a postojem.

Na poniższej planszy (rys. 18) przedstawiono widok harmonogramu pracy kombajnu: w górnej części w postaci graficznej, w dolnej części rysunku w postaci liczbowej: podział na odcinki drogi, czas rozpoczęcia pracy, rodzaj pracy (urabianie, postój), aktualna prędkość kombajnu, droga od początku ściany. Istotną własnością opracowanego algorytmu jest możliwość zmian harmonogramu podczas symulacji pracy kombajnu. Możliwość ta jest przydatna w procesie walidacji, co zostanie pokazane w jednym z przykładów.



Rys. 18. Widok planszy programu komputerowego z interaktywnym harmonogramem

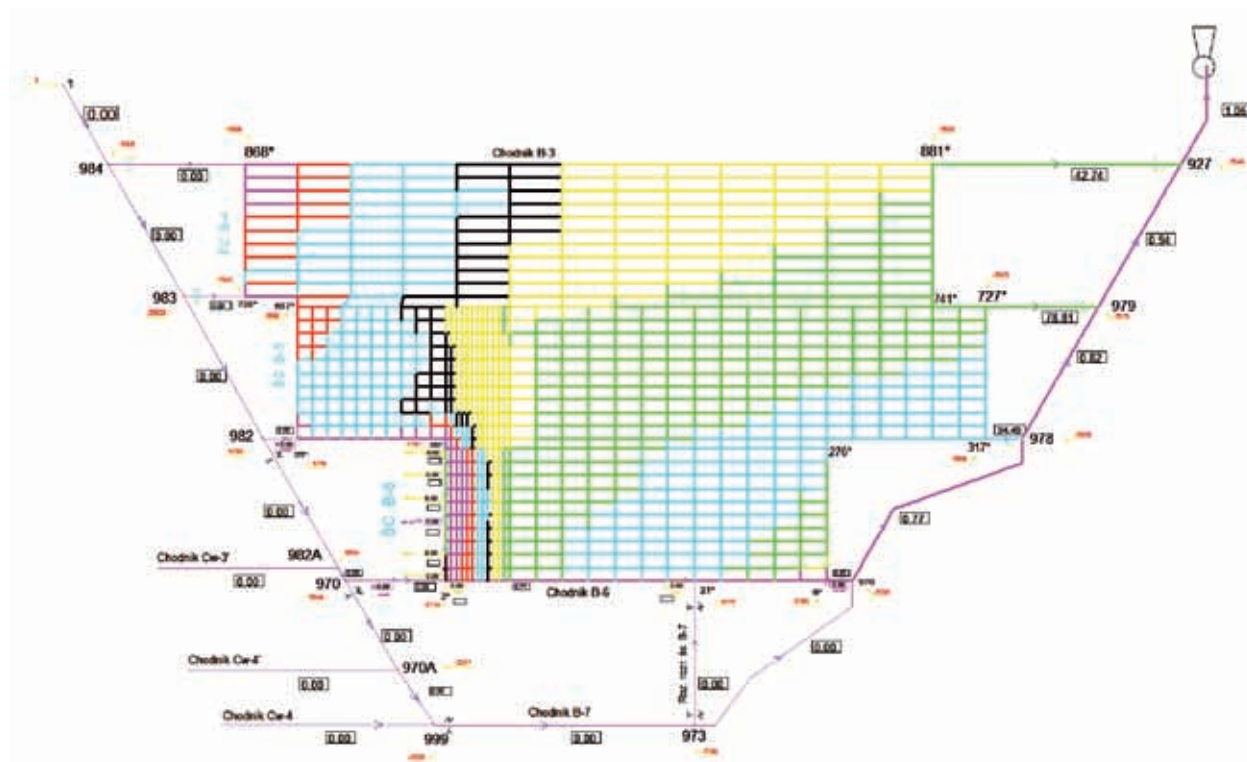
Parametry pracy kombajnu oraz dane dotyczące gazodynamiki eksploatowanego pokładu przedstawiono w rozdziale 7.3.

7.1. Model numeryczny rejonu ściany B-6

Dla symulacji przepływu powietrza i metanu w rejonie ściany B-6 oraz zlikwidowanych ścian B-5 i B-4, a także ich zrobów w warunkach urabiania ściany kombajnem opracowano bazę danych zawierającą parametry zastosowanego modelu matematycznego. Potrzebne dane uzyskano na podstawie:

- wyników pomiarów wentylacyjnych wykonanych przez kopalnię, w tym schemat potencjalny rejonu,
- komputerowego opisu parametrycznego sieci wentylacyjnej w standardzie danych systemu programów komputerowych *Ventgraph* dla stanu jej struktury i regulacji przewietrzania rejonu w okresie prowadzonego eksperymentu,
- danych projektowych o rejonie eksploatacji, profile chodników,
- map pokładowych, profile geologiczne,
- wyników pomiarów przez czujniki prędkości i stężenia metanu systemu monitoringu z okresu poprzedzającego eksperyment w ścianie B-6

Ustalono strukturę sieci wyrobisk oraz zrobów tak aby z praktyczną dokładnością oddawała rzeczywistą strukturę wyrobisk i zrobów oraz system przewietrzania. Wprowadzenie struktury wyrobisk rejonu oraz danych o zrobach pozwoliło na wykonanie rysunku schematu przestrzennego rozpatrywanego rejonu sieci wentylacyjnej przedstawionego na rysunku 19.



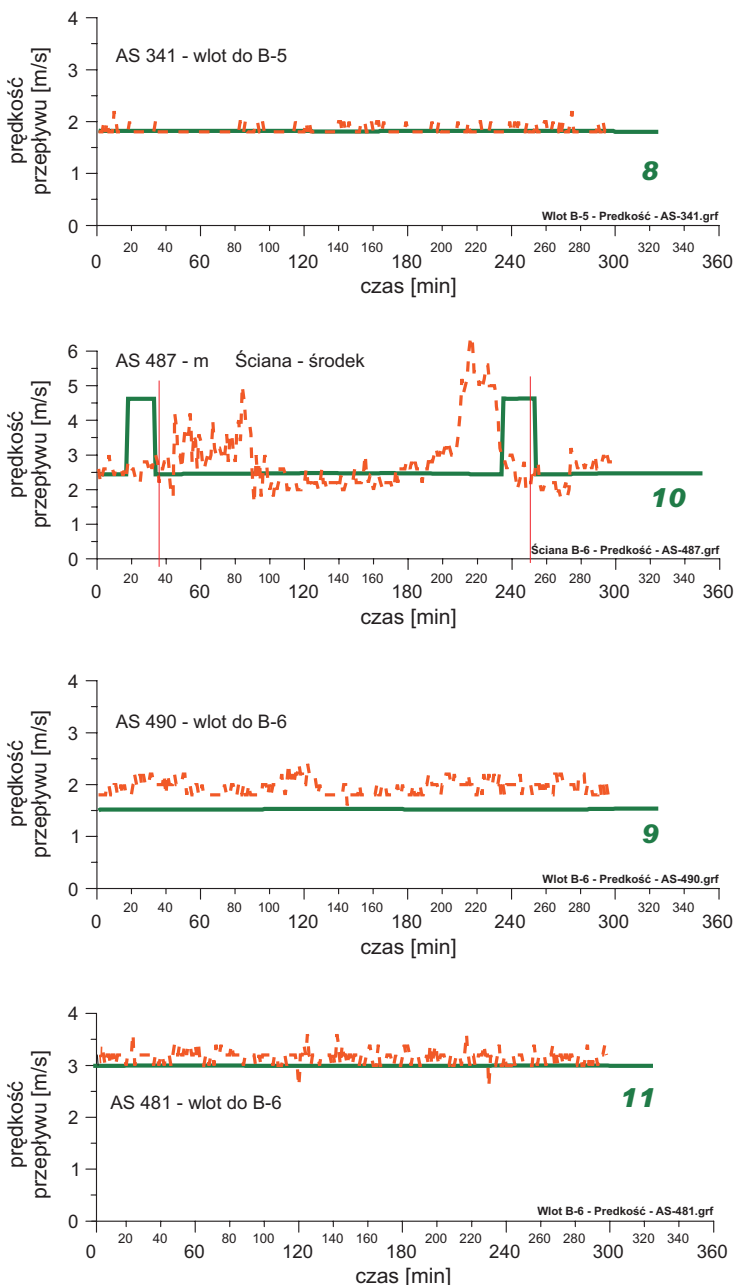
Rys. 19. Schemat przestrzenny rejonu ściany B-6 pokład 358/1

Dla wyznaczenia danych charakteryzujących przepływ w zrobach wykorzystano model teoretyczny rozkładu przepuszczalności i kształtowania się wysokości zrobów (Dziurzyński W., 1999) oraz dane jakie wynikają z analizy mapy pokładu 358/1, profili geologicznych, projektu eksploatacji ściany (geometria wyrobisk, koty niwelacyjne, grubość pokładu eksploатовanego, rodzaj skał stropowych). Korzystając z powyżej wymienionych danych wyznaczono parametry charakteryzujące obszar zrobów zgodnie z wymogami zastosowanego modelu matematycznego.

7.2. Dobór parametrów modelu w zakresie rozplywu mieszaniny powietrza i metanu

Istotną czynnością jest wyznaczenie początkowego stanu rozplywu 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. Rejestracje zmian stężenia metanu przed i w trakcie urabiania kombajnem w ścianie B-6, pozwoliły wyznaczyć wydatek objętościowy metanu zawarty w przepływającym powietrzu w ścianie, w chodniku B-6 oraz w zrobach. W rozdziale 3 Tablica 3 oraz w rozdziale 5 Tablica 7 pokazano zmierzone stężenia metanu oraz wyznaczone wartości wydatku przepływu powietrza i wydatku metanu w przekroju każdego czujnika. Analiza danych w tablicy 7 pozwoliła na wyznaczenie dopływu metanu w rejonie ściany B-6 oraz do zrobów ścian zlikwidowanych B-4 i B-5 pokład 358/1. Wyznaczone dane przyjęto do dalszych obliczeń prognostycznych. W rejonie ściany B-6 prowadzone było odmetanowanie, ujmowano 10.6 m³/min metanu o stężeniu 61%.

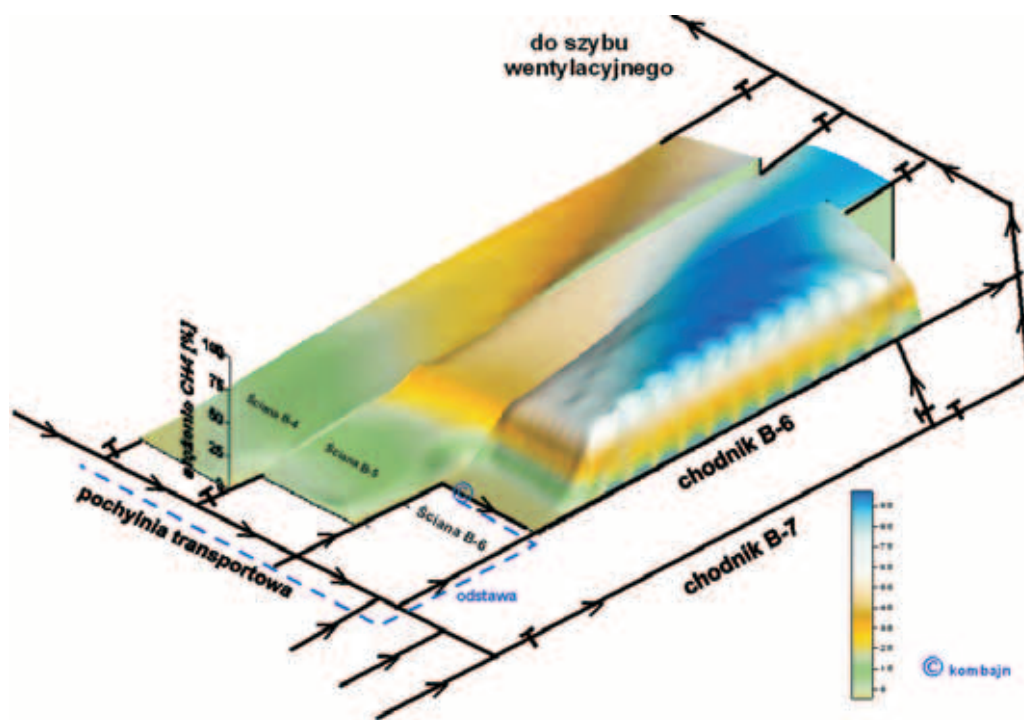
Na kolejnym rysunku nr 20 przedstawiono wykresy zmian prędkości przepływu powietrza rejestrowane przez anemometry systemu monitoringu kopalni (linia przerywana) oraz wyznaczone podczas symulacji komputerowym programem *VentZroby* (linia ciągła).



Rys. 20. Prędkość przepływu powietrza w wyrobiskach rejonu ściany B-6. linia ciągła – symulacja, linia przerywana – monitoring

Przedstawione na rysunku 20 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 21 przedstawiono rozkład stężenia metanu w zrobach ściany B-6 oraz w zrobach wcześniej eksploatowanych ścian B-4 i B-5, 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.



Rys. 21. Przestrzenny rozkład stężenia metanu w zrobach ściany B-6:
 – równomierny dopływ metanu do zrobów,
 – stan początkowy – kombajn nie pracuje

7.3. Walidacja parametrów modelu pracy kombajnu i odstawy urobku.

W przykładzie pokażemy procedurę postępowania w celu doboru parametrów modelu pracy kombajnu podczas jego dwustronnego urabiania w ścianie B-6 tak aby uzyskać jak najlepszą zgodność obserwacji zmian stężenia metanu w ścianie uzyskanych z komputerowych symulacji w odniesieniu do zarejestrowanych przebiegów przez siedem czujników metanu systemu monitoringu w tym pięć w ścianie B-6. Zdefiniowana miara jakości stanowi podstawę do oceny poprawności obliczeń komputerowych. Celem badań była taka zmiana wybranych parametrów modelu, aby minimalizować miarę odległości szeregów czasowych reprezentujących przebiegi stężeń metanu zmierzone i otrzymane na drodze modelowania numerycznego.

Rozmieszczenie czujników wirtualnego systemu monitoringu wzdłuż ściany B-6 i w chodniku B-6 był identyczny jak podczas eksperymentu, a miejsce ich lokalizacji pokazano w Tabelicy 6 (rozdział 4) oraz na rysunku 19.

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, odpowiadających chwili rozpoczęcia urabiania przez kombajn (godzina 7:40 w dniu 13.06.2007). Wyznaczony stan początkowy rozplywu powietrza i metanu w wyrobiskach i zrobach przedstawiono na rysunku 20 i 21.
2. Wykonanie obliczeń prognozowanych przebiegów stężenia metanu dla wstępnie dobranych parametrów przyjętego modelu. W tablicy 8 przedstawiono widok okna dialogowego programu *VenZroby*

adekwatny do nowego modelu matematycznego pracy kombajnu. Wywołanie tego okna umożliwia wprowadzanie zmian w parametrach modelu przed rozpoczęciem symulacji.

3. W trakcie obliczeń w pętli czasowej, program zapisuje uzyskane wyniki w postaci zbioru danych przydatnego do sporządzenia wykresów zmian prędkości przepływu, stężenia metanu. Ponadto program oblicza miarę odległości dla każdego czujnika stężenia metanu oraz również sumy tych miar dla 7 czujników w całym okresie obliczeń.
4. Analiza uzyskanego rozwiązania i obserwacja przebiegów zmian stężenia metanu w stosunku do zarejestrowanych podczas eksperymentu, daje asumpt do dokonania zmian w parametrach modelu opisującego urabianie kombajnem.
5. Po zmianie wybranych parametrów modelu wykonano powtórne obliczenia zgodnie z czynnościami opisanymi powyżej.

Dla potrzeb przeprowadzonej walidacji programu *VentZroby* z wykorzystaniem wyników eksperymentu „in situ” wykonano 47 przykładów obliczeniowych, podczas których zmieniano następujące parametry:

- początkową prędkość wydzielania metanu,
- największą prędkość wydzielania metanu,
- stałe P_{sc} i T_{sm} , zależne od własności sorpcyjnych węgla, od stopnia rozdrobnienia urobku i od średniej zawartości początkowej metanu w urobionym węglu, m^3/t .

Początkową prędkość wydzielania metanu zmieniano w granicach od 1.0 E-3 do 1.0 E-5 , wartość tego parametru ma znaczenie dla ustalenia początkowego poziomu stężenia metanu wzdłuż ściany.

Największą wartość wydzielania metanu zmieniano w granicach od 1.0 E-2 do 1.0 E-4 , wartość tego parametru ma znaczenie dla ustalenia poziomu stężenia metanu podczas urabiania przez kombajn.

Stałe P_{sc} i T_{sm} , decydują o wielkości emisji metanu z urobionego węgla i zmieniano je w granicach od 0.5 do 1.5.

Parametry pracy kombajnu wynikające z przyjętego modelu matematycznego oraz dane dotyczące gazodynamiki eksploatowanego pokładu przedstawiono w Tabelicy 8.

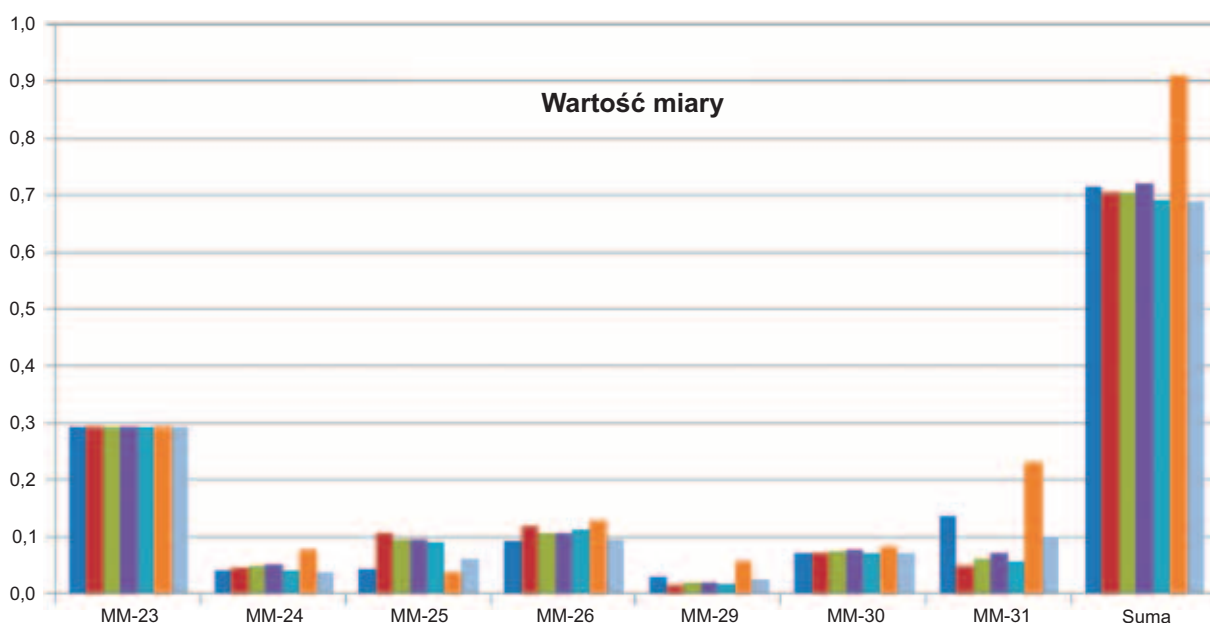
Tab. 8.

Parametry dla kombajnu i przenośnika transportowe...			
Wysokość zabioru [m]	2.1		
Długość strefy oddziaływania kombajnu [m]	10.0		
Prędkość kombajnu w górę ściany [m/s]	0.029	w dół	0.029
Czas ustalania się emisji metanu [s]	3600		
Prędkość przenośnika ścianowego [m/s]	1.09		
Prędkość przenośnika w chodniku transportowym [m/s]	1.09		
Zabior kombajnu [m]	0.8		
Gęstość węgla [kg/m ³]	1300		
Początkowa prędkość wydzielania się metanu [m/s]	1.5E-0004		
Największa prędkość wydzielania się metanu [m/s]	5.0E-0004		
Opór przed kombajnem [kg/m ⁷]	0.200		
Zmiana przekroju na odc. z kombajnem [mniejszy o %]	42		
Parametr dod. dla P_{sc}	1.0	Parametr dod. dla T_{sm}	1.0

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 chodniku B-6 podczas obliczeń nie były zmieniane. Długość strefy oddziaływania kombajnu (strefa emisji metanu) i czas ustalania się emisji metanu również nie były zmieniane.

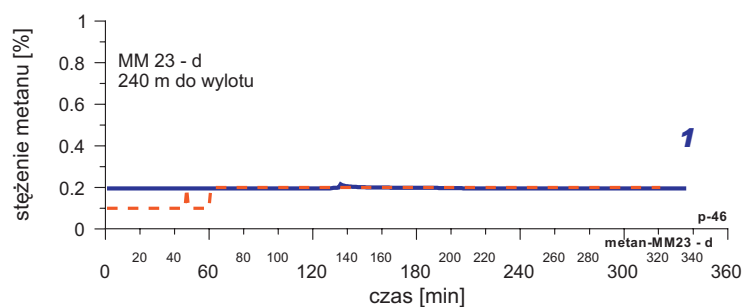
Ponadto z uwagi na fakt, że rozpatruje się dwustronne urabianie kombajnem z ustalonym harmonogramem, w kolejnych symulacjach podjęto próbę zmiany tego harmonogramu polegającą na wydłużeniu postoju kombajnu w czasie fazy jazdy do góry ściany. Celem tej zmiany było sprawdzenie wpływu krótkiego postoju kombajnu na prędkość przepływu powietrza w ścianie i zmiany stężenie metanu.

Na rysunku 22 przedstawiono zmiany wartości miary odległości dla siedmiu wybranych symulacji różniących się wymienionymi powyżej parametrami. Na osi poziomej rys. 22 znajdują się czujniki stężenia metanu, a na osi pionowej jest miara odległości przebiegów stężenia metanu. Ostatnia kolumna – 8 jest sumą miar poszczególnych czujników.

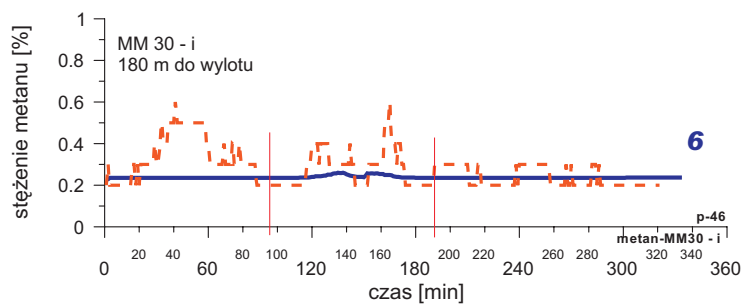


Rys. 22. Miary odległości dla 7 czujników i ich suma

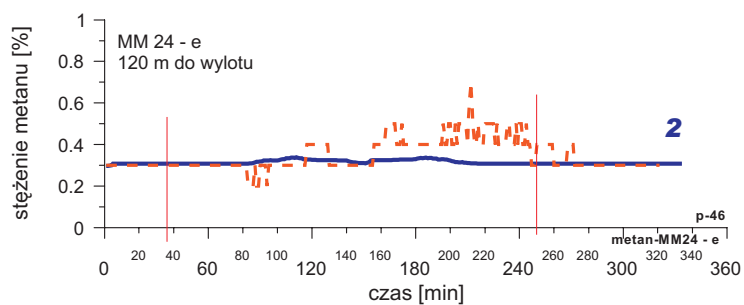
Na kolejnych rysunkach od nr 23 do 29 pokazano prognozowane (linia ciągła) i zarejestrowane przez czujniki systemu monitoringu (linia przerywana) przebiegi stężenia metanu, przy czym przebiegi prognozowane pokazano dla symulacji, która ma najmniejszą wartość miary (rys. 22).



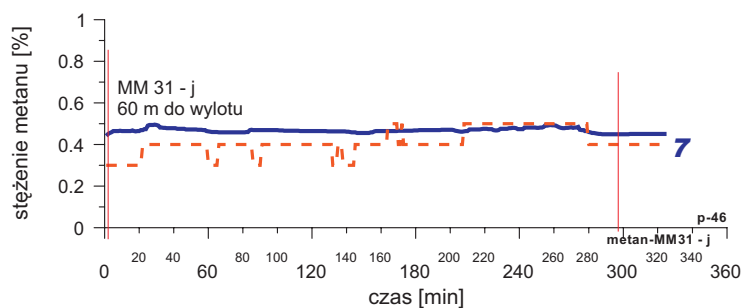
Rys. 23. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika MM 23



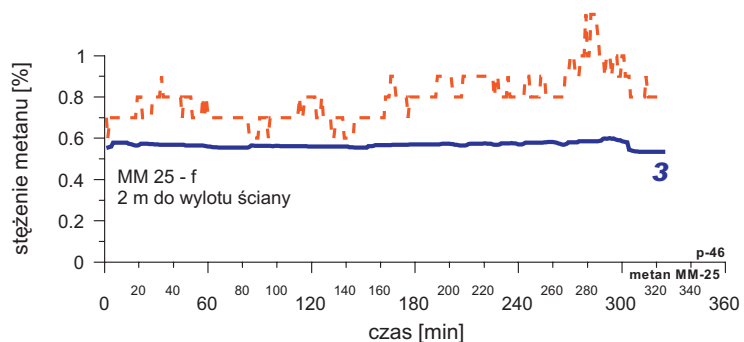
Rys. 24. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika MM 30



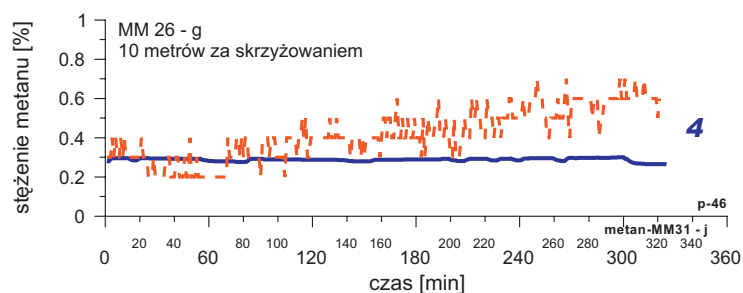
Rys. 25. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika MM 24



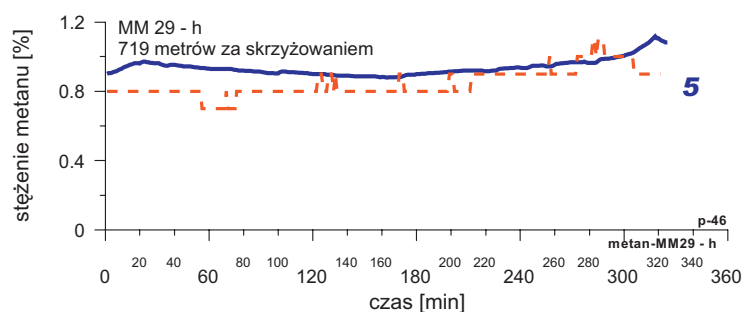
Rys. 26. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika MM 31



Rys. 27. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez prognostyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika MM 25



Rys. 28. Przebiegi stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez progностyczne obliczenia w miejscu lokalizacji czujnika MM 26



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

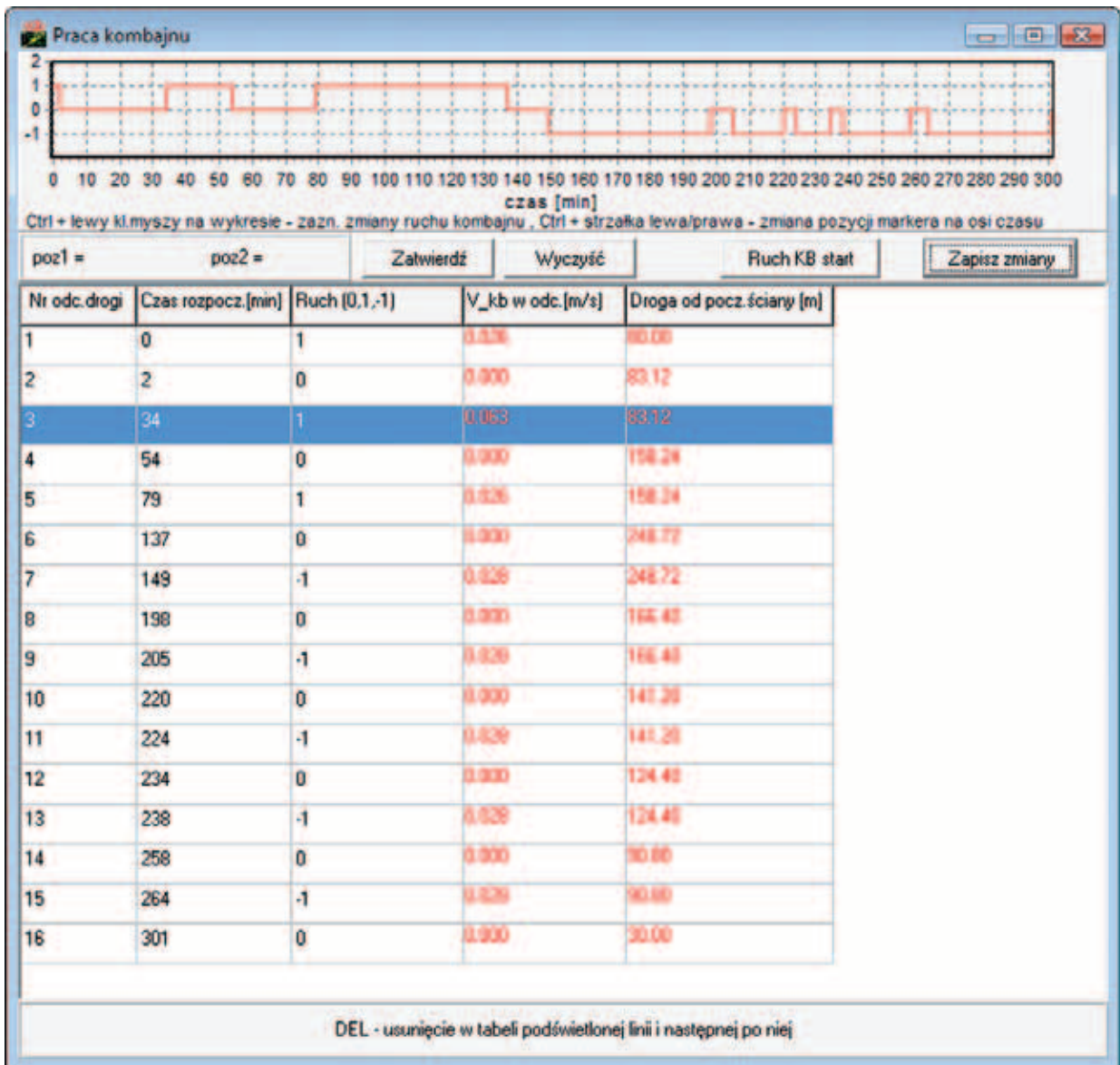
7.4. Zmiana harmonogramu pracy kombajnu

Ponieważ system monitoringu pracy kombajnu rejestruje pracę silników elektrycznych kombajnu bez pomiaru mocy pobieranej przez silnik, dlatego można przypuszczać, że nie każde załączenie silnika oznacza że kombajn urabia węgiel. Jak wspomniano wcześniej, przedstawimy przykład symulacji zmiany harmonogramu pracy kombajnu polegający na wprowadzeniu do harmonogramu krótkiego postoju. Analiza harmonogramu oraz rejestracja zmian prędkości przepływu kombajnu (patrz rysunek 20) daje przesłanki aby zmiany te wprowadzić w początkowym okresie. Korzystając z odpowiedniej opcji programu wprowadzono postulowane zmiany. Na kolejnym rysunku pokazano widok planszy zawierającej harmonogram z wprowadzonym postojem kombajnu w okresie od 2 do 34 minuty.

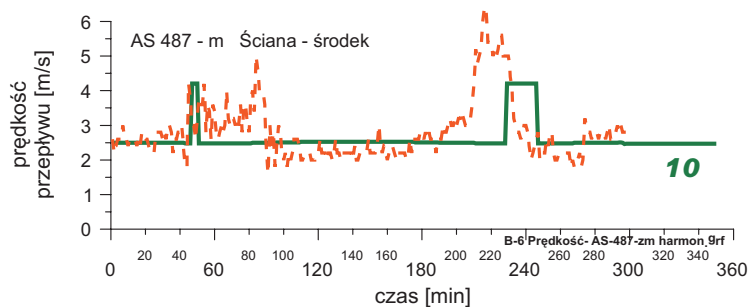
Wykonana zmiana w harmonogramie spowodowała, że kombajn później dotarł do anemometru nr 487. Uzyskany przebieg jest bardziej zgodny z rejestracją przez anemometr systemu monitoringu.

Lepsze dopasowanie przebiegów zmian prędkości przepływu powietrza dla tego anemometru można osiągnąć po zmianie lokalizacji położenia tego anemometru w modelu numerycznym instalując go w ścianie 8 metrów dalej w kierunku chodnika B-5. Na rysunku 32 przedstawiono zmiany prędkości przepływu powietrza obliczone podczas symulacji, w której zmieniono lokalizację czujnika AS 487.

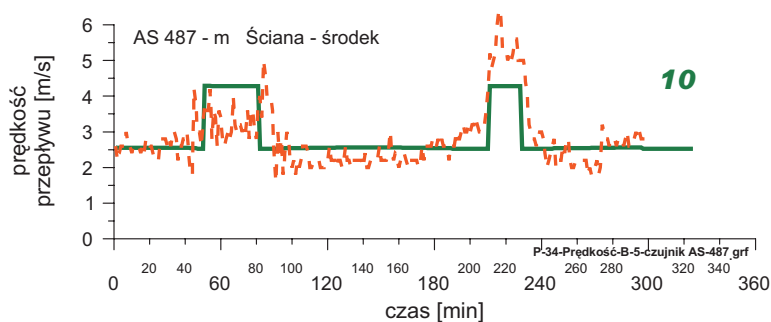
Na rysunku 33 przedstawiono zmiany stężenia metanu obliczone podczas symulacji, w której wprowadzono zmiany w harmonogramie pracy kombajnu. Obserwujemy wzrost stężenia metanu rejestrowany przez wirtualny czujnik MM 31 w chwili podjęcia przez kombajn urabiania węgla po wprowadzonym postojem.



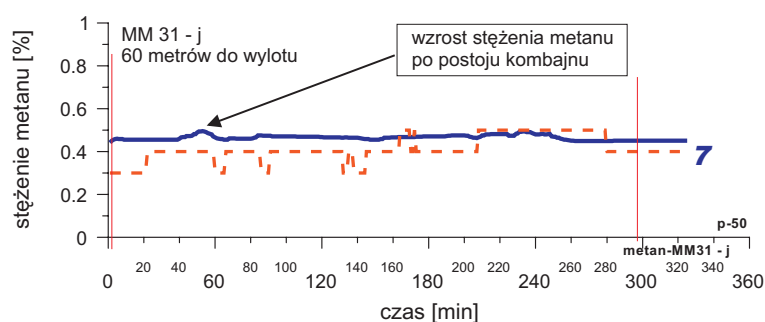
Rys. 30. Widok planszy z interaktywnym harmonogramem



Rys. 31. Zmiany prędkości przepływu powietrza w ścianie



Rys. 32. Zmiany prędkości przepływu powietrza w ścianie po zmianie lokalizacji czujnika



Rys. 33. Wzrost stężenia metanu zarejestrowane i wyznaczone przez progностyczne obliczenia po postoju kombajnu – czujnik MM 31

8. Podsumowanie

Porównując wyniki rejestracji stężenia metanu i prędkości powietrza w ścianie i sąsiadujących wyrobiskach otrzymane z eksperymentu i z symulacji komputerowej można odnotować pewne prawidłowości. O ile zgodność uśrednionych wartości jest zadowalająca to występują różnice w wartościach chwilowych. Przyczyny tych różnic leżą zarówno po stronie niedoskonałości eksperymentu „in situ” jak i po stronie przybliżonego opisu zjawisk przez model matematyczny stosowany w programie symulacji. Przede wszystkim model opisujący emisję metanu z calizny urabianej kombajnem zakłada jednorodność urabianego pokładu. W rzeczywistości takie parametry jak porowatość i przepuszczalność mogą się zmieniać wzdłuż ściany powodując zmienność prędkości wypływu metanu w zależności od aktualnego położenia kombajnu. Mogą też występować szczeliny i uskoki powodując znaczące zmiany emisji w chwili, gdy kombajn urabia w miejscu ich występowania.

Inną przyczyną występujących różnic jest sam sposób pomiaru porównywanych wielkości. Program symulujący operuje takimi wielkościami jak strumień masy i strumień objętości powietrza płynącego w wyrobisku i średni udział masowy lub objętościowy metanu w tym strumieniu obliczając te wartości dla wybranych punktów w ścianie i sąsiednich chodnikach. Natomiast w eksperymencie mierzone i rejestrowane są wartości miejscowe prędkości powietrza i stężenia metanu. Zależność pomiędzy wartościami miejscowymi i średnimi nie jest dokładnie znana, ponieważ wynika z nieznanego profilu prędkości powietrza i stężenia metanu w przekroju ściany w miejscu zainstalowania przyrządu pomiarowego. Nie jest też dokładnie znany ruch kombajnu, ponieważ system monitoringu rejestruje tylko dwustanowo włączenie i wyłączenie napędu kombajnu oraz przenośników. Należy zaznaczyć, że wykonanie wiarygodnych pomiarów zmiennych w czasie wartości strumienia powietrza i stężenia metanu w strumieniu przepływającym przez ścianę jest bardzo trudne i właściwie do tej chwili w sposób zadowalający nie rozwiązane.

Dlatego należy jako sukces uznać osiągnięty stopień zgodności wyników pomiarów i symulacji komputerowej. Przydatne było by jednak kontynuowanie prac nad metodami pomiarowymi „in situ” strumienia powietrza przepływającego w ścianie i średniego stężenia metanu w tym strumieniu oraz wielkości emisji metanu z calizny węglowej ściany przed kombajnem i za nim, a także zmienności w czasie wydzielania się

metanu z urobionego węgla. Należy przy tym zdawać sobie sprawę z bardzo dużych trudności technicznych wykonania wymienionych tu pomiarów w warunkach eksploatacji ściany.

Praca została wykonana w roku 2008 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

1. Airuni A.T., 1987: *Prognozowanie i priedotwraszczenie gazodynamiczieskich jawlienij w ugołnych szachtach*. Moskwa, „Nauka”.
2. Badura H., 2001: *Podstawy krótkoterminowej prognozy metanowości w oparciu o teorię szeregów czasowych*. XVIII Seminarium „Zwalczanie zagrożenia metanowego w kopalniach – teoria i praktyka”, Rybnik.
3. Biernacki K., Gumiński A., 1999: *Ocena dokładności wykonywania bazy danych kopalnianej sieci wentylacyjnej dla obliczeń komputerowych*. Mat. 1. Szkoły Aerologii Górniczej, Zakopane.
4. 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 Automatykacja Górnictwa nr 3-4 (2003) s. 55-67.
5. Drzęzła B., Badura H., 1980: *Przybliżony rozkład stężenia metanu emitowanego z urobku*. Archiwum Górnictwa tom 25, z. 2.
6. Dziurzyński W., 1999: *Symulacja numeryczna procesu przewietrzania – programy komputerowe*. 1 Szkoła Aerologii – Zakopane 1999 r.
7. Dziurzyński W., Krach A., 1983: *Non-steady state in a mine ventilation network caused by a side inflow*. Archiwum Górnictwa T. 28, z. 2.
8. Dziurzyński W., Krach A., 2001: *Mathematical model of methane emission caused by a collapse of rock mass crump*. Archiwum Górnictwa 46, 4.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. Dziurzyński W., Krawczyk J., 2001: *Unsteady flow of gases in a mine ventilation network – a numerical simulation*. Archives. of Mining Sci. Vol. 46, Iss. 2.
14. Dziurzyński W., Krawczyk J., 2002: *Analiza wpływu ogniska pożaru i emisji metanu na rozptył gazów w sieci wyrobisk*. Górnictwo, R. 26, z. 1, (2001).
15. Dziurzyński W., Kruczkowski J., 2007: *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, Iss. 3 (2007).
16. Dziurzyński W., Pałka T. 1999: *Przetwarzanie danych systemu monitoringu sieci wentylacyjnej w programach komputerowych Inżyniera Wentylacji Ventgraph*. Prace IMG PAN. T. 1, nr 1-2 (11), s. 175-192.
17. Dziurzyński W., Pałka T., 2000: *Algorytmy komputerowej symulacji procesu przewietrzania umożliwiające dostęp i wykorzystanie danych systemu monitoringu sieci wentylacyjnej*. Prace IMG PAN.
18. Dziurzyński W., Tracz J., Trutwin W., 1987: *O modelu matematycznym przepływu powietrza i gazów powyrzutowych w kopalnianej sieci wentylacyjnej*. Archiwum Górnictwa, t. 32, z. 1.
19. Dziurzyński W., Tracz J., Trutwin W., 1987: *Symulacja numeryczna przepływu powietrza i gazów powyrzutowych w kopalnianej sieci wentylacyjnej*. Archiwum Górnictwa t. 32, z. 1.
20. Dziurzyński W., Trutwin W., 1978: *Numeryczna metoda obliczania nieustalonego przepływu powietrza w kopalnianej sieci wentylacyjnej*. Górnictwo 1.
21. Dziurzyński W., Krawczyk J., Kruczkowski J., 2008: *Assessment of stability of flow a modified mine ventilation network considering a presence of fire hazards*, 12 Th U.S. 12 North American Mine Ventilation Symposium, June

- 9-11, 2008, Reno, Newada (2008) s. 578-582.
22. Findeisen W, Szymanowski J., Wierzbicki A. 1977: *Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji*. PWN, Warszawa.
 23. Frycz A., Kozłowski B., 1979: *Przewietrzanie kopalń metanowych*. Wyd. „Śląsk”, Katowice.
 24. Gościński A., Łazarski E., Nawarecki E. 1974: *Problemy sterowania złożonymi procesami*. AGH, Skrypty Uczelniane, Nr 464.
 25. Gumuła S., Trutwin W., 1977: *Zmiany koncentracji metanu w wyrobiskach kopalnianych zawierających źródła metanu w świetle badań laboratoryjnych*, Archiwum Górnictwa t. 22, z. 1.
 26. Kajdasz Z., Markefka P., Stefanowicz T., 2002. *Zagrożenia aerologiczne wywołane w kopalniach głębinowych zmianami ciśnienia barometrycznego – Sposób eliminowania*. Ratownictwo Górnicze, nr 2 (26), CSRG Bytom.
 27. Klebanow F.S., 1974: *Aerodynamiczneskoje upravlenie gazowym režimom w szachtnych wentilacyjnych sietiach*. Izdatielstwo „Nauka”.
 28. Kozłowski B., 1972: *Prognozowanie zagrożenia metanowego w kopalniach węgla kamiennego*, Wyd. „Śląsk”, Katowice,
 29. Krach A., 2002: *Measurement uncertainty of static differential pressure measurement in mine ventilation networks using the barometric method*. Archives of Mining Sci. Vol. 47, Issue 3.
 30. Krach A, 2004. *Wpływ zmian ciśnienia barometrycznego na stężenie metanu w prądzie powietrza wypływającym z rejonu ściany z przyległymi zrobami – model matematyczny i algorytm obliczeniowy*. Archives of Mining Sciences, Vol. 49, Issue 1, p. 43-53.
 31. Krach A. 2004: *Źródła niepewności w kopalnianych pomiarach wentylacyjnych*. Archives of Mining Sci., Vol. 49, Spec. Issue.
 32. Krach A., Krawczyk J., Kruczkowski J. Pałka T., 2007: *Zmienność pola prędkości i strumienia objętości powietrza w wyrobiskach kopalń głębinowych*, Archiwum Górnictwa, Seria Monografia, nr 1, Kraków.
 33. Nawrat St., 1999: *Eksperymentalne i modelowe badania procesu wypełniania metanem otamowanych wyrobisk w kopalniach węgla kamiennego*, Prace naukowe, badawcze, wdrożeniowe EMAG Katowice, nr 1 (11).
 34. Niezgoda F., 2000: *Wpływ rozkładu ciśnienia na stężenie gazów w sieci wentylacyjnej kopalni w warunkach okresowego zatrzymania wentylatora głównego przewietrzania*, Praca doktorska, Wydział Górniczy, AGH Kraków.
 35. Otnes R. K., Enochson L., 1978: *Analiza numeryczna szeregów czasowych*. WNT Warszawa, (1978).
 36. Pałka T., 1999: *Wykorzystanie sygnałów z czujników systemu monitoringu oraz obliczeń rozplywu powietrza do poszukiwania miejsca pożaru w kopalni*. Materiały 1 Szkoły Aerologii Górniczej, Zakopane, 11-15.10.1999, s. 347-352.
 37. Pawiński J., 1971: *Przepływy z wymianą masy i pędu w niektórych zagadnieniach przewietrzania kopalń*. Zeszyty Naukowe AGH, Górnictwo, z. 34, Kraków.
 38. Pawiński J., Roszkowski J., Strzemiński J., 1955: *Przewietrzanie kopalń*. Śląskie Wydawnictwa Techniczne, Katowice.
 39. Pawiński j., Roszkowski J., Szlązak N., 1995 : *Zmiany koncentracji metanu w wyrobiskach korytarzowych*, Archiwum Górnictwa, t. 40, nr 3.
 40. Szlązak J., 2000: *Przepływ powietrza przez strefę zawału w świetle badań teoretycznych i eksperymentalnych*. Rozprawy Monografie, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.
 41. Tarasow B.G., Kołmakow W.A., 1978: *Gazowyj barjer ugodlnych szacht*. Moskwa „Niedra”.
 42. Tor A., Jakubów A., 2006: *Wyrzuty metanu i skał w kopalniach Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A*. Materiały 4 Szkoły Aerologii Górniczej, Kraków.
 43. Trutwin W. 1968: *Modelowanie stanów nieustalonych w sieciach wentylacyjnych przy pomocy urządzeń analogowych*, Zeszyty Naukowe AGH, nr 230, z. 19.
 44. Trutwin W., 1972. *Symulacja cyfrowa stanów nieustalonych procesu przewietrzania i regulacji kopalnianej sieci wentylacyjnej*. Zeszyty Problemowe Górnictwa, t. 10, z. 2.
 45. Trutwin W., 1973: *Wpływ warunków przewietrzania na stężenie metanu w wyrobiskach kopalnianych*. Górnictwo, T. 11, z. 2.
 46. Wasilewski St., 1984: *Analiza niektórych parametrów sieci wentylacyjnej kopalni*, Praca doktorska, IMG PAN, Kraków.
 47. Wasilewski St., 1998: *Stany nieustalone przepływu powietrza i stężenia metanu w wyrobiskach kopalnianych*. Prace naukowo badawcze-wdrożeniowe EMAG Katowice, nr 1/9.
 48. 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.

Validation of the VentZroby programme using the results of „in situ” experiments, new algorithms for the preparation of input data

Abstract

The article presents the results of the validation of the VentZroby programme obtained through a comparison of the results of measurements of the air volume stream and concentrations of methane, performed in a wall mined using a coal combine, with the results of a computer simulation performed for this area of the mine using the VentZroby computer programme. During the measurement experiment, the values of air velocity, barometric pressure and methane concentration were measured at a number of points of the wall and in subwall galleries. Unlike in an earlier measurement experiment (Wasilewski, Bojarski, Kurpas, 2007), where the results of measurements were recorded with the coal combine moving in one direction, in the course of the present experiment we recorded air velocities and methane concentrations for the complete working cycle of the combine, this comprising mining when moving towards the upper part of the wall, a standstill period, and mining when moving downwards along the wall. The criterion applied for the comparison, as in the work presented by Dziurzyński, Krach, Krawczyk and Pałka (2007), was the times series distance measure. In the VentZroby computer programme, we made use of a modified model of methane emissions from the body of coal in front of the mining combine, as well as from the uncovered area of coal behind the combine. The modification of the model made it possible to simulate the operation of the combine in two directions with a standstill period. The calculation algorithms used to determine the concentration of methane in air ventilating the wall were modified as appropriate, taking into consideration emissions from output on the wall conveyor and on the conveyor in the subwall gallery. The algorithms take into consideration the standstill of conveyors during breaks in the operation of the combine. A separate issue concerns the introduction to the programme of simulation data in order to determine the structure and parameters of the ventilation network with goafs, the operating parameters of the combine and parameters for the model of emission of methane from the wall and output, which accompanies mining. In particular, programming of the movement of the combine in both directions with a period of standstill required a completely new data introduction algorithm.

The calculated simulation results and a comparison thereof with the results of measurements performed in the mine point to the usefulness of the VentZroby programme for forecasting the state of ventilation of the wall area mined by a combine. The basic condition, however, is the obtainment of an appropriate set of input data for the simulation programme, and this is possible solely through measurements performed both by means of the monitoring system and individually.

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

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