

Rozwój metody prognozowania stanu atmosfery kopalni z wykorzystaniem symulacji numerycznej oraz danych z systemu monitoringu

WACŁAW DZIURZYŃSKI, STANISŁAW WASILEWSKI, ANDRZEJ KRACH, TERESA PAŁKA

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

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań zmierzające do rozwoju metody prognozowania niestacjonarnego przepływu mieszaniny powietrza i gazów w sieciach wentylacyjnych, zrobach, w procesie przewietrzania kopalń, z uwzględnieniem naturalnych i katastroficznych zaburzeń w warunkach przepływu. Przyjęto, że istotne informacje o stanie przewietrzania wnoszą dane z systemu gazometrii automatycznej w kopalni.

Wyniki wcześniejszych badań w zakresie walidacji programu komputerowego *VentZroby* były na tyle interesujące, że dały podstawę do zaproponowania nowego podejścia do zasad budowy modelu numerycznego sieci wentylacyjnej kopalni, obejmującego również zrob. Zaproponowano wykorzystanie modeli numerycznych utworzonych na bazie systemu programów Inżyniera Wentylacji *Ventgraph* z dołączonym obszarem zrobów eksploatowanych ścian. Opracowany nowy algorytm programu oraz interfejs programu są „przyjazne” w obsłudze dla użytkownika.

W drugiej części pokazano nowe możliwości praktycznego wykorzystania programu komputerowego *VentZroby* do badań stanów przewietrzania na przykładzie rejonu wentylacyjnego ściany 4 i 5 pokład 409 kopalni Śląsk, w której miało miejsce tragiczne zdarzenie we wrześniu 2009 roku. Podjęto próbę odtworzenia stanu przewietrzania przed zdarzeniem, z uwzględnieniem zagrożenia metanowego. Takie badania pozwalają nie tylko na samą ocenę przyczyn zdarzenia, ale również umożliwiają zbudowanie profesjonalnego narzędzia dla oceny skali zagrożeń wynikających z przepływu oraz migracji gazów wybuchowych względnie toksycznych, jako produktów rozwijającego się pożaru w zrobach.

W celu walidacji rozwiązań modelowych w zakresie wyznaczenia przepływu powietrza i metanu w rejonie ściany wykorzystano dane z kopalnianego systemu monitoringu prędkości powietrza i stężenia metanu w wyrobiskach po zatrzymaniu wentylatora głównego przewietrzania. Brak danych pomiarowych o parametrach przepływu powietrza (prędkości, ciśnienia itp.) dla rejonu ściany, przed zdarzeniem utrudnił ustalenie danych początkowych do symulacji. Obliczenia programem *VentZroby* dla zmiennych parametrów modelu prowadzono tak aby uzyskać najlepsze dopasowanie wyników obliczeń do danych zarejestrowanych w kopalnianym systemie gazometrii automatycznej.

Wyniki badań pokazały szereg trudności w wyznaczaniu parametrów modelu numerycznego z wykorzystaniem danych uzyskanych z czujników kopalnianego systemu gazometrii automatycznej, co m.in. wynika z punktowego sposobu pomiarów w tych systemach oraz losowych zaburzeń sygnałów pomiarowych parametrów powietrza. Stwierdzono, że istotnym elementem dla wiarygodności danych jest ich potwierdzenie drogą pomiarów porównawczych, w miejscach zainstalowania czujników systemu monitoringu w wyrobiskach sieci wentylacyjnej kopalni. Losowe zaburzenia parametrów powietrza rejestrowane przez czujniki w systemie gazometrii mogą być również eliminowane przez filtrację sygnałów pomiarowych przed ich wykorzystaniem do badań modelowych.

Słowa kluczowe: symulacja procesu przewietrzania, walidacja programu komputerowego, zagrożenie metanowe, bezpieczeństwo

1. Wprowadzenie

Obecny poziom bezpieczeństwa prowadzenia eksploatacji węgla kamiennego w górnictwie podziemnym charakteryzuje się wieloma zagrożeniami naturalnymi, spośród których dominuje zagrożenie metanowe. Bezpieczeństwo pracy załóg górniczych w kopalniach głębinowych wymaga poprawnej wentylacji wyrobisk ścianowych i zrobów celem aktywnego zwalczania istniejących zagrożeń naturalnych. Szczególne

znaczenie dla bezpiecznej eksploatacji ma obszar zrobów, gdzie w miarę urabiania węgla w ścianie gromadzi się znaczna ilość metanu o wysokim stężeniu. Zgromadzony w zrobach metan w zależności od warunków przewietrzania (zmiany ciśnienia, krótkie spięcia na tamach, prowadzone odmetanowanie itp.) oraz warunków górnico-geologicznych (np. uskoki, opad stropu) ulega czasoprzestrzennym zmianom zarówno co do wartości stężenia metanu jak również następuje niekontrolowane zbliżanie się do linii ściany mieszanej o wysokiej zawartości metanu. Stan wentylacji jest kontrolowany przez system czujników gazometrii automatycznej oraz przez pomiary ręczne. Pomiary te dokonywane są w prądzie powietrza obiegowego, a zagrożenie metanowe zlokalizowane jest w zrobach jak również na styku zrobów ze ścianą, szczególnie na wylocie ze ściany. Wobec takiej sytuacji należy dążyć do rozbudowy systemów gazometrycznych o możliwość monitorowania obszaru zrobów w zakresie skojarzonego zagrożenia metanowo-pożarowego (Wasilewski, Cimr, Wach, 2010). Drugim obiecującym kierunkiem działania jest zastosowanie metody komputerowej symulacji procesu przewietrzania zrobów w połączeniu nie tylko z wyrobiskami przyścianowymi ale też z całą siecią wyrobisk kopalni. Wyniki wcześniejszych badań w zakresie walidacji programu komputerowego *VentZroby* były na tyle interesujące, że dały podstawę do zaproponowania nowego podejścia do zasad budowy modelu numerycznego sieci wentylacyjnej kopalni obejmującego również zrobry. W tym zakresie zaproponowano wykorzystanie modeli numerycznych utworzonych na bazie systemu programów Inżyniera Wentylacji *Ventgraph* z dołączonym obszarem zrobów eksploatowanych ścian. Wymagało to opracowania nowych algorytmów programu, a przyjęty interfejs programu jest „przyjazny” w obsłudze dla użytkownika. To nowe podejście zwiększa możliwości komputerowej symulacji procesu przewietrzania zrobów i wyrobisk kopalni. Należy zwrócić uwagę na znaczny rozwój, jaki już dokonał się w ostatnich latach, w zakresie wdrożenia metody symulacji komputerowej prognozowania procesu przewietrzania wyrobisk górniczych i zrobów ścian wydobywczych w warunkach zagrożenia metanowo-pożarowego. Opracowano specjalistyczne narzędzia obliczeniowe, które umożliwiają stosowanie skuteczniejszych metod oraz umożliwiają lepszy dobór środków prewencji dla ograniczenia występujących zagrożeń.

W zakresie dalszego wykorzystania możliwości, jakie daje technika komputerowa w zastosowaniu do symulacji procesu przewietrzania oraz zwalczania zagrożenia metanowego i pożarowego, jest wdrożenie do praktyki górniczej rozwiązań jakie niosą komputerowe programy numerycznej mechaniki płynów (CFD) w oparciu o modele wielowymiarowe. Należy podkreślić, że bez walidacji (Dziurzyński, Krach, Pałka, Wasilewski, 2010; Krawczyk, 2007; Krawczyk, Wasilewski, 2009) tych rozwiązań w oparciu o pomiary wentylacyjne, na obiekcie rzeczywistym czy na stanowisku laboratoryjnym, same obliczenia nie są w pełni wiarygodne i mogą prowadzić do błędnej interpretacji rozpatrywanych zjawisk.

Istotną trudnością w stosowaniu nowoczesnego narzędzia jakim jest metoda symulacji komputerowej, szczególnie po nagłym zaburzeniu procesu wentylacji spowodowanym np. wybuchem metanu jest fakt, że nie wszystkie kopalnie posiadają aktualne modele numeryczne opisujące rozptył powietrza w sieci wyrobisk kopalni. W pracy podjęto próbę budowy modelu numerycznego opisującego niestacjonarny przepływ mieszanej powietrza i gazów w sieci wyrobisk i zrobach z uwzględnieniem naturalnych i katastroficznych zaburzeń w warunkach przepływu. Pokazano nowe możliwości praktycznego wykorzystania programu komputerowego *VentZroby* do badań stanów przewietrzania na przykładzie rejonu wentylacyjnego ściany 4 i 5 pokład 409 kopalni Śląsk, w której miało miejsce tragiczne zdarzenie we wrześniu 2009 roku. Celem tych badań jest podjęcie próby odtworzenia stanu przewietrzania przed zdarzeniem z uwzględnieniem zagrożenia metanowego. Takie badania pozwalają nie tylko na samą ocenę przyczyn zdarzenia, ale również umożliwiają w przyszłości zbudowanie profesjonalnego narzędzia dla oceny skali zagrożeń wynikających z przepływu oraz migracji gazów wybuchowych względnie toksycznych, takich jak metan czy tlenek węgla jako produkty rozwijającego się pożaru węgla w zrobach.

W celu walidacji rozwiązań modelowych w zakresie wyznaczenia przepływu powietrza i metanu w rejonie ściany 5 wykorzystano dane z kopalnianego systemu monitoringu prędkości powietrza i stężenia metanu w wyrobiskach po zatrzymaniu wentylatora głównego przewietrzania w Szybie III. Znaczną trudnością w ustaleniu danych początkowych do symulacji był brak danych pomiarowych o parametrach przepływu powietrza (prędkości, ciśnienia itp.) dla rejonu ściany 5, przed zdarzeniem. W badaniach prowadzono wielokrotne obliczenia programem *VentZroby* dla zmiennych parametrów modelu tak aby uzyskać najlepsze dopasowanie wyników obliczeń do danych zarejestrowanych w kopalnianym systemie gazometrii automatycznej.

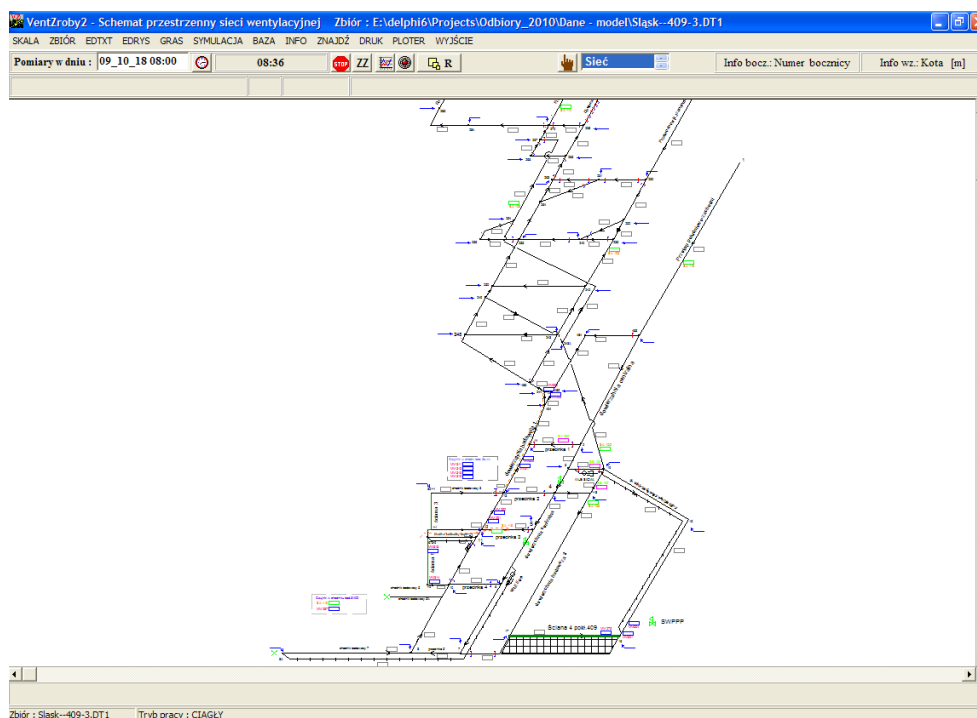
2. Model numeryczny rejonu ściany – nowe podejście

Zastosowana w dotychczasowych wersjach programu **VentZroby** idea automatycznego tworzenia zrobów nie pozwalała na łączenie ich z istniejącą bazą danych oraz z rysunkiem schematu przestrzennego sieci wentylacyjnej kopalni, utworzonym za pomocą programu **Ventgraph**. Tworzenie określonego rejonu sieci ze zrobami należało zacząć od określenia rozmiarów, podziałów i parametrów fizycznych zrobów, a następnie po automatycznym obliczeniu i narysowaniu bocznic tworzących zroby, można było przystąpić do wprowadzania i rysowania struktury bocznic sieci nie należących do zrobów. Ten sposób umożliwiał narysowanie i obserwację zjawisk fizycznych jedynie w niewielkim rejonie sieci, bez możliwości łącznych obliczeń całej sieci i zrobów. Wraz ze zmianami w eksploatowanych ścianach istniała konieczność tworzenia coraz to nowych rysunków rejonów ze zrobami, co w tym ujęciu było nader uciążliwe, ponieważ wymagało tworzenia rejonu od nowa, nie pozwalając na wykorzystanie istniejącej struktury sieci wentylacyjnej i jej rysunku.

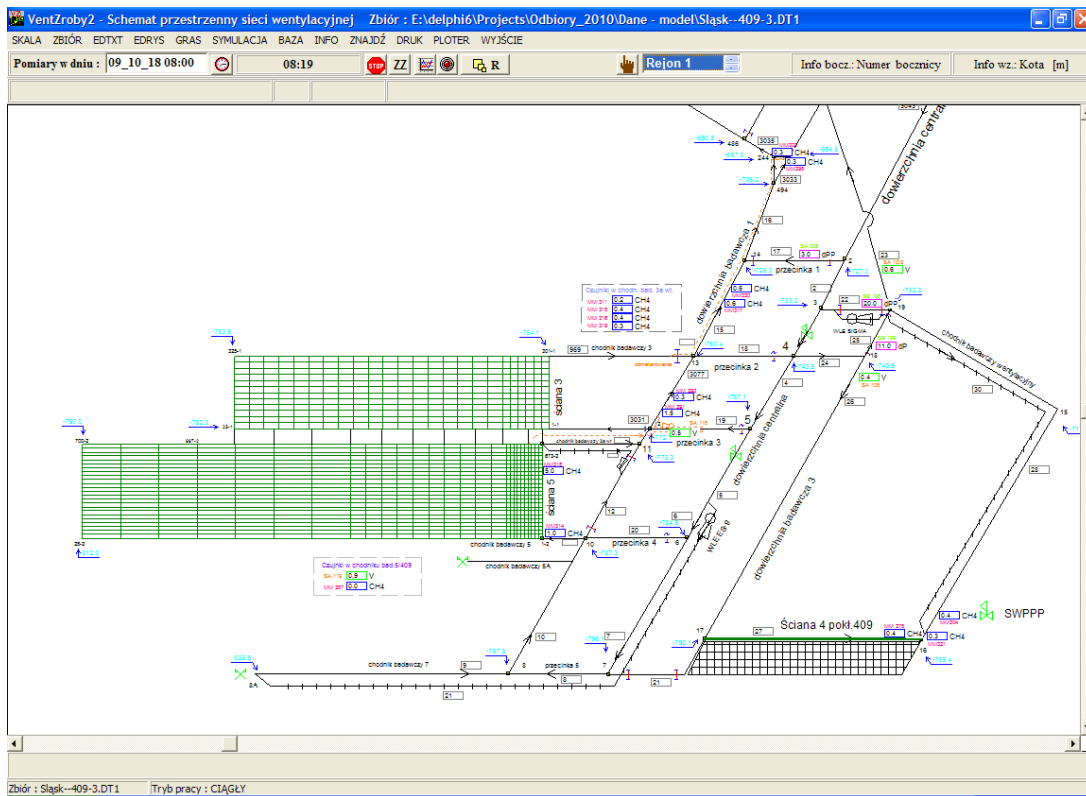
Dlatego zaistniała potrzeba zmiany podejścia do zagadnienia automatycznego tworzenia sieci bocznic opisujących zroby, tak aby możliwe było wykorzystanie istniejącej struktury i rysunku sieci wentylacyjnej założonej programem **Ventgraph**. Nowe podejście ma umożliwiać obserwację zjawisk zachodzących zarówno w rejonach poszczególnych ścian eksploatacyjnych kopalni jak i w całej sieci, a zmiany zachodzące w czasie eksploatacji ścian związane z wielkością zrobów i co za tym idzie z ilością bocznic zrobowych - muszą dać się łatwo nanosić w istniejącej strukturze sieci bez konieczności wykonywania rysunków od początku. Nowy program dostał roboczą nazwę **VentZrobyN**.

Program działa na danych struktury oraz rysunku sieci wentylacyjnej zapisanych w plikach programem **Ventgraph** i posiada edytor tekstowy do wprowadzania i aktualizacji danych struktury sieci. Jednak modulem w którym edytuje się rejon wraz ze zrobami jest edytor graficzny. Jest to edytor EDrys poszerzony o dodatkowe opcje związane z wyborem rejonów sieci i przygotowaniem danych o zrobach. Obecna wersja programu przewiduje możliwość opracowywania danych dla maks. 3 zrobów w sieci. Zroby te mogą występować w osobnych rejonach sieci, jak też w zależności od potrzeb mogą być zgrupowane w rejonie.

W każdym z modułów programu na górnej listwie pod menu programu umieszczono przewijalne okno do wyboru obszaru sieci do pokazania na ekranie (tryb pracy – z siecią lub rejonem). Może to być cała sieć (Rys. 1) – wówczas niewidoczne są szczegóły dotyczące zrobów (na ekranie widoczna jest tylko wyrobisko ściany od strony zrobu), lub poszczególne utworzone wcześniej rejonu sieci (Rys. 2). W przypadku wybrania opcji rejonu widoczny jest fragment sieci przypisany do tego rejonu wraz ze zrobami znajdującymi się w tym rejonie.



Rys. 1. Widok ekranu ze schematem przestrzennym sieci wentylacyjnej kopalni



Rys. 2. Widok ekranu ze schematem przestrzennym wybranego rejonu sieci ze zrobami

2.1. Edytor EDRYS – tworzenie i modyfikacja rejonów sieci

Moduł EDRYS umożliwia odwzorowanie cyfrowe schematu przestrzennego sieci wyrobisk oraz posiada dodatkową opcję „**Rejon**” która umożliwia użytkownikowi tworzenie nowych rejonów składającego się z wyrobiska ścianowego i przylegającymi zrobami lub modyfikację wcześniej opracowanych. Opcja ta posiada następujące funkcje:

- **utwórz** – dostępna tylko w trybie pracy z siecią. Uruchamiana jest wówczas procedura tworzenia nowego rejonu sieci. Użytkownik zaznacza na rysunku sieci obszar który ma być nowym rejonem pokazywanym na oddzielnym rysunku. Wszystkie elementy znajdujące się w tym obszarze zostają przypisane do tego rejonu, a na ekranie pojawia się rysunek wybranego rejonu i możliwa jest jego edycja. Bocznice (łamane), które tylko częściowo znajdowały się w zaznaczonym obszarze rysowane są w całości. Na pasku statusu programu (dół ekranu) w pierwszej jego części wyświetlony jest numer opracowywanego rejonu.
- **usuń** – procedura usuwania rejonu sieci. Jeżeli użytkownik znajduje się w trybie pracy z rejonem to ma możliwość anulowania przypisania wszystkich elementów do rejonu, obszar jako rejon jest usuwany z pamięci komputera i program powraca do trybu pracy z siecią.
- **rejon=sieć** – w przypadku gdy użytkownik nie dysponuje rysunkiem całej sieci wentylacyjnej kopalni jest możliwość przypisania istniejącego fragmentu sieci do rejonu w całości. Wtedy wszystkie elementy rysunku mają przypisanie do rejonu i są widoczne na ekranie niezależnie od wyboru trybu pracy („Sieć” czy „Rejon”). W przypadku pracy z siecią, jeśli są umieszczone w rejonie zroby, nie są one pokazywane na rysunku, a jedynie ich wyrobisko ścianowe.
- **usuń z rejonu** –
 - **łamaną** – w przypadku pracy z siecią użytkownik musi wybrać najpierw numer rejonu z którego chce usuwać łamane (przycisk Nr Rejonu). Bocznice które należą do tego rejonu będą przerysowane na zielono, a użytkownik lewym klawiszem myszy może je wskazywać do usunięcia. Razem ze wskazaną bocznicą z rejonu będą usunięte wszystkie elementy związane z tą bocznicą (strzałki, prostokąty, tamy). Wszystkie te elementy nadal pozostają w sieci. W przypadku trybu pracy z rejonem wskazywane bocznice są usuwane z rysunku tego rejonu wraz z przypisanymi im elementami.

- **blok** – można usuwać z rejonu cały blok zaznaczonych elementów. Wówczas z rysunku rejonu znikają wszystkie elementy znajdujące się wewnątrz zaznaczonego bloku jak i bocznicę które częściowo tam się znajdują. W przypadku pracy z siecią należy po wprowadzeniu numeru rejonu (bocznicę rejonu przerysowane na zielono) wybrać blok do usunięcia i zatwierdzić. Usunięte z rejonu bocznicę będą przerysowane w kolorze sieci.
- **Dodaj do rejonu** – opcja ta jest dostępna tylko w trybie pracy z siecią.
- **łamana** – podobnie jak przy usuwaniu łamanych z rejonu po wprowadzeniu numeru rejonu (bocznicę rejonu przerysowane na zielono), łamane wskazywane przez użytkownika będą przerysowywane na zielono dla odróżnienia ich od bocznic sieci. Również elementy przypisane do bocznic będą przypisane do tego rejonu.
- **blok** – istnieje możliwość przypisania do rejonu, większej ilości elementów za jednym razem. Podobnie jak przy usuwaniu bloku z rejonu po wprowadzeniu numeru rejonu (bocznicę rejonu przerysowane na zielono), należy zaznaczyć i zatwierdzić blok elementów do dodania. Wszystkie elementy znajdujące się wewnątrz bloku zostają przypisane do tego rejonu a bocznicę zostają przerysowane na zielono.

2.1.1. Dodatkowe atrybuty elementów rysunkowych

Wszystkie rysunkowe elementy sieci, aby były pokazywane na właściwych rysunkach, muszą mieć odpowiednie przypisanie tzw. widok, oraz w przypadku rysunku rejonu muszą mieć określony numer rejonu na rysunku którego będą widoczne. Podczas tworzenia i modyfikacji rejonu, elementy do niego należące mają automatycznie nadawane odpowiednie przypisanie widoku i numeru rejonu. W przypadku usuwania z rejonu przypisanie te są likwidowane. Jednak czasem zachodzi potrzeba aby pewne elementy jak np. opisy, teksty itp. otrzymały inne przypisanie niż miały dotychczas. Dlatego na pasku narzędziowym modułu pojawiły się dwa dodatkowe przyciski umożliwiające zmianę przypisania elementu. Są to przyciski:

- **widok** – określający w jakim trybie pracy będzie widoczny element :
 - tylko sieć – oznacza że element będzie widoczny tylko w trybie pracy z siecią (tylko na rysunku sieci),
 - tylko rejon – oznacza że element będzie widoczny tylko w trybie pracy z wybranym rejonem (tylko na rysunku tego rejonu),
 - zawsze – oznacza że element będzie widoczny na rysunku sieci jak i wybranego rejonu.
- **Rej=1** – określający w którym rejonie element ma być widoczny, funkcja nie jest dostępna w przypadku gdy wybrano „widok” = tylko sieć. Wyświetlany numer oznacza numer kolejny rejonu.

Tak jak dotychczas w tym edytorze aby edytować element należy najpierw go zaznaczyć. Na omówionych wyżej przyciskach wyświetlone zostaną wtedy przypisanie edytowanego elementu. Po wciśnięciu przycisku w obu przypadkach pojawi się podmenu z którego należy wybrać właściwe przypisanie.

Podczas rysowania nowych elementów należy pamiętać o ustawieniu ich przypisań do rysunku za pomocą tych przycisków lub przy użyciu opcji „Atrybuty” > Widok. Jeśli element jest rysowany w czasie pracy z rejonem to nie można go przypisać tylko do sieci, i jeśli praca odbywa się w trybie sieci to nie można przypisać elementu tylko do zrobów. Te funkcje są wówczas niedostępne. Jeżeli element ma być widoczny zawsze lub tylko w rejonie należy pamiętać o przypisaniu mu odpowiedniego numeru rejonu. Element nie może być widoczny w wielu rejonach.

2.1.2. Tworzenie zrobów w rejonach

Po wybraniu rejonu można przystąpić do projektowania zrobów w tym rejonie. W programie tym oprócz dotychczasowego sposobu rysowania zrobów (schematyczne zaznaczanie zrobów na rysunku tak jak w *Ventgraph*), możliwe jest automatyczne tworzenie zrobów, reprezentowanych przez bocznicę zrobowe, w których będą przeprowadzane i obserwowane na rysunku obliczenia stanów ustalonych i nieustalonych przepływu powietrza i stężeń gazów w wyrobiskach. Aby powstały takie zrobki należy po wybraniu opcji Rysuj > Zrobki ustawić w opcji „Atrybuty” podopcję „Rodzaj” na „Bocznicę”. Wybranie atrybutu rodzaj na „Rysunek” skutkuje tym, że zrobki będą rysowane schematycznie jako element rysunkowy tak jak w *Ventgraph* i nie będą tam przeprowadzone żadne obliczenia.

Na dole ekranu oprócz informacji w którym rejonie pracujemy, znajduje się informacja o trybie pracy edytora (Rysowanie) oraz numer rysowanego zrobku.

Za pomocą lewego klawisza myszy ciągnąc kontury pojawiającego się prostokąta można umieścić zroby w wybranym do tego celu miejscu na ekranie, należy jedynie zwrócić uwagę na ewentualne rozmiary rysunkowe zrobów tak aby były proporcjonalne do reszty rejonu. Zwolnienie klawisza kończy rysowanie konturów zrobu. Poprzez kliknięcie myszą poza kontur można zrezygnować z niego i ponownie rozpocząć operację rysowania zrobu. Kliknięcie w środku konturu powoduje zatwierdzenie go i pojawienie się panelu do edycji tego zrobu (Rys. 3).

L.p.	Wymiar x[m]	Wymiar y[m]	Podział dx	Il.punkt.	kota1[m]	kota2[m]	kota3[m]
1	100	240	10	11	-793.0	-776.9	0.0
2	400	240	40	11	-809.0	-786.0	0.0
3	700	240	100	8	-812.0	-790.0	0.0
4							

Rys. 3. Panel Edycji zrobów

Należy tutaj podać wymiary rzeczywiste zrobu – długość ściany i wybieg, zaznaczyć czy ściana jest w eksploatacji, podać orientację osi X i Y zrobu, oraz kąty na narożach zrobu. Ściana jest zawsze ustawiona w osi Y. Można dokonać podziału zrobu na części o różnej długości (w osi X) w zależności od odległości od ściany. To umożliwi podział zrobu na bocznic zrobowe o różnej długości i co za tym idzie zagęszczenie siatki bocznic w danej części, umożliwiające dokładniejszą obserwację zjawisk tam zachodzących. W tabeli podziału na części zrobu należy podać wymiary części, podział w osi X w metrach, oraz kąty końca tej części idąc po osi X od punktu (0,0) układu współrzędnych (1 kota – punkt na osi X). W programie przyjęto równy podział zrobu wzdłuż osi Y bez możliwości podziału zrobu na części w tej osi. Po wprowadzeniu podziałów program oblicza ilość punktów podziału zarówno w osi X jak i Y.

Po wprowadzeniu wymiarów należy określić parametry zrobów. Po wybraniu klawisza „Ustaw parametry zrobów” pojawi się panel, w którym można wprowadzić parametry zrobu dotyczące jego metanowości, przepuszczalności, porowatości oraz grubości pokładu itp. Dodatkowo, jeśli użytkownik wprowadza do struktury sieci tzw. płyty pomiędzy zrobami, to musi również wprowadzić dla nich grubość pokładu i przepuszczalność. Te parametry stanowią podstawę do obliczeń oporów oraz ciśnienia statycznego w zrobach i płytach.

Po wprowadzeniu wszystkich danych dla zrobów można automatycznie wygenerować strukturę sieci dotyczącą zrobów. Po wyborze funkcji „Policz zroby” program tworzy bocznic zrobowe stanowiące siatkę podziału zrobu, zarówno ich strukturę połączeń jak i dane rysunkowe (współrzędne, kolor, grubość linii itp.), oraz zgodnie z przyjętym modelem matematycznym przeprowadza obliczenia parametrów fizycznych tych bocznic (długość, przekrój, wysokość niwelacyjna, opór, ciśnienie statyczne). Na rysunku w konturze zrobów pojawią się bocznic siatki podziału, a na narożach zrobu numery węzłów tych naroży. W celu łatwej aktualizacji istniejących zrobów w strukturze sieci, tekstowe numery węzłów zrobowych składają się z kolejnego numeru (począwszy od 1) oraz myślnika i numeru zrobu do którego należy węzeł. Taki system

numeracji pozwala na szybkie wyszukanie bocznic zrobowych w przypadku usuwania zrobów z sieci czy jego modyfikacji (zmiana ilości części czy ilości podziałów w częściach zrobu). Takie podejście nie wymaga przeprowadzania zmian w całej strukturze sieci.

Po narysowaniu zrobów można go połączyć z wybranymi węzłami sieci za pomocą funkcji „Dołącz do sieci”. Po jego użyciu należy wskazać kursorem myszy węzeł sieci do połączenia z węzłem zrobu, a następnie wskazać węzeł zrobu do połączenia z nim. Na dole ekranu w pasku statusu wypisywane są numery wskazywanych węzłów, a w linii powyżej pojawiają się wskazówki do działań użytkownika. Po wskazaniu 2 węzłów automatycznie tworzona jest bocznicza sieci której węzłami wlotowym i wylotowym są wybrane węzły w kolejności ich wskazania. Tak samo należy wskazać kolejne połączenie zrobu z siecią. Bocznicze utworzone w ten sposób istnieją w strukturze sieci, należy jednak po zapisie rysunku przed obliczeniami przejść do modułu EDTXT i wprowadzić dla nich dane.

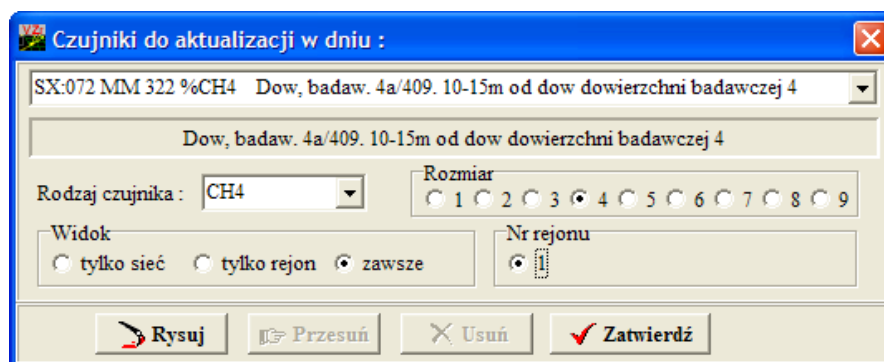
Na panelu edycji zrobów znajdują się dodatkowo przyciski do usuwania zrobów z rysunku i struktury sieci, obliczania samych kot niwelacyjnych w zrobie oraz zapisu danych zrobów w plikach.

Po utworzeniu i zapisie zrobu można przejść do widoku całej sieci poprzez opcję „Pokaż”. Na schemacie przestrzennym sieci będzie widoczna sama ściana zrobu (kolor zielony). Użytkownik może w dowolny sposób opisać zroby i rejon używając dostępnych elementów rysunkowych pamiętając tylko o przypisaniu ich do odpowiedniego rejonu i widoku na rysunku.

Jeżeli użytkownik chce dokonać zmian w istniejącym już zrobie to po wybraniu w opcji „Pokaż” odpowiedniego rejonu (na ekranie rysunek rejonu), w opcji „Edycja” wybiera podopcję „zrobu” wskazuje na zroby do edycji (na rysunku). Wtedy na ekranie pojawi się panel Edycji zrobów, w których może dokonać zmian geometrycznych zrobu przeliczyć koty lub zmieniając parametry fizyczne zrobu obliczyć nowe opory bocznic zrobowych. Takich samych zmian można dokonać w module EDTXT wybierając opcję „Zroby” > „Podział”. Zmianie ulegnie również rysunek schematu przestrzennego sieci.

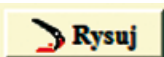
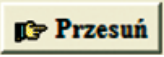


2.2. System gazometrii automatycznej w programie *VentZrobyN*

Program *VentZrobyN* posiada moduł umożliwiający umieszczenie na rysunku czujników sieci monitoringu pobranych z systemu Zefir. Przy odczycie baza czujników jest filtrowana ze względu na rodzaj wielkości pomiarowej. Dla celów tego programu interesujące są czujniki stężeń tlenu węgla i metanu, anemometry (prędkość przepływającego powietrza), barometry (ciśnienie) i czujniki na tamach (różnica ciśnień). Ze względu na zmiany dokonywane w strukturze sieci jak i zmiany lokalizacji czujników program dokonuje również aktualizacji bazy czujników już narysowanych ze względu na ich położenie, czujniki które straciły swoje przypisanie do bocznic są automatycznie usuwane z rysunku. Użytkownik może je ponownie umieścić w innym miejscu posługując się panelem aktualizacji czujników (Rys. 4.) który zawiera interesującą nas bazę czujników Zefira. W panelu tym należy wybrać określony czujnik, jego rodzaj, rozmiar czujnika na rysunku oraz na jakich rysunkach będzie widoczny (tylko sieć, tylko rejon, zawsze). Jeśli zawsze lub tylko na rysunku rejonu to należy też zaznaczyć numer rejonu gdzie czujnik będzie widoczny.



Rys. 4. Panel aktualizacji bazy czujników monitoringu

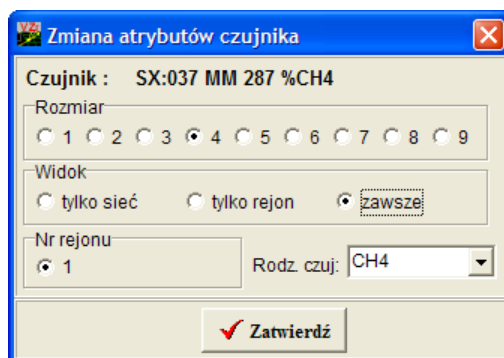
Po wyborze czujnika do narysowania i ustawieniu jego atrybutów, można go umieścić na rysunku schematu przestrzennego używając przycisków znajdujących się u dołu panelu.

- funkcja  – oznacza rysowanie w wybranym, wskazanym przez kursor miejscu sieci. Kliknięcie lewym klawiszem myszy oznacza narysowanie czujnika (prostokąt) w miejscu położenia kursora. Każdy rodzaj czujnika rysowany jest innym kolorem, dodatkowo symbol mierzonej wielkości umieszczono z prawej strony prostokąta obrazującego czujnik. Należy zwrócić uwagę na to, aby prostokąt znajdował się możliwie blisko bocznicę lewym górnym rogiem, ze względu na właściwe przypisanie prostokąta do bocznicę. Jeśli umieszczono czujnik w niewłaściwym miejscu, można go jeszcze przesunąć lub w ogóle usunąć z rysunku używając kolejnych przycisków z panelu aktualizacji.
- funkcja  – daje możliwość przesunięcia czujnika w inne miejsce. W tym celu należy wskazać czujnik do przesunięcia i przeciągnąć czujnik we właściwe miejsce.
- funkcja  – oznacza anulowanie wybranego czujnika. Użycie tego przycisku powoduje zmazanie prostokąta oznaczającego czujnik z rysunku, oraz wprowadzenie czujnika z powrotem do listy czujników do aktualizacji;
- funkcja  – każdy wybrany z listy i narysowany we właściwym miejscu czujnik należy zatwierdzić. Wówczas z listy czujników do aktualizacji znika nazwa czujnika, a czujnik jest wprowadzony do bazy czujników pracujących w danym dniu.

Jeżeli użytkownik chce zmienić położenie już narysowanych i pracujących czujników należy w tym celu użyć w menu głównym podopcji „Przesuń Czujnik”. Postępowanie w tym przypadku jest identyczne jak przy pracy z panelem aktualizacyjnym bazy czujników – tak jak dla przycisku „Przesuń”.

Opcja „Usuń czujnik” umożliwia usunięcie czujnika z rysunku i wprowadzenie go z powrotem do bazy czujników. Działa tak jak przycisk „Usuń”.

Podopcja „Zmień atrybuty” pozwala na zmianę rodzaju czujnika, jego rozmiaru oraz przypisania do odpowiedniego rysunku na którym ma być wyświetlany i numeru rejonu. Po wybraniu opcji należy wskazać czujnik którego atrybuty mają być zmienione. Symbol wybranego czujnika jest zaznaczony małymi białymi kropkami oraz pojawia się okno w którym można zmienić jego atrybuty (Rys. 5). Po zatwierdzeniu czujnik zostaje odpowiednio przerysowany.



Rys. 5. Zmiana atrybutów czujnika monitoringu

Wykorzystując opcję „Zapis bazy” można dokonać zapisu narysowanej bazy czujników po kolejnym etapie pracy z panelem aktualizacyjnym. Ułatwia to użytkownikowi pracę, ponieważ może w związku z tym wprowadzać czujniki etapami (niekoniecznie wszystkie naraz).

3. Przygotowanie komputerowej bazy danych charakteryzujących przepływ powietrza w rejonie ściany 5 w pokładzie 409

Przygotowanie danych potrzebnych do opracowania modelu numerycznego rejonu ściany 5 w pokładzie 409 napotkało na szereg trudności wynikających z braku aktualnego modelu numerycznego sieci wyrobisk kopalni. Kopalnia dysponowała rysunkiem schematu przestrzennego sieci wyrobisk, nieaktualnym modelem numerycznym uproszczonej sieci wyrobisk kopalni oraz schematem potencjalnym z roku 2008 rejonu ściany 3 i 5 pokład 409. W takiej sytuacji budowę modelu numerycznego rozpoczęto od analizy dostępnej informacji w zakresie wentylacji oraz zagrożenia metanowego i pożarowego w miesiącu wrześniu 2009 roku. Również wiele danych wentylacyjnych zawierają ekspertyzy Komisji dla zbadania przyczyn i okoliczności zapalenia i wybuchu metanu oraz wypadku zbiorowego w dniu 18 września 2009 roku (Cygankiewicz, Sułkowski, Trutwin, 2010; Łukowicz, Szlązak, Wasilewski, 2010). Ponadto dla przygotowania danych początkowych do badań modelowych odbyto szereg roboczych spotkań z pracownikami działu wentylacji kopalni celem uzyskania dodatkowych informacji dotyczących rejonu:

- wyników pomiarów wentylacyjnych wykonanych przez kopalnię, w tym schemat potencjalny rejonu,
- dane projektowe o rejonie eksploatacji, profile chodników przyścianowych,
- mapy pokładowe, profile geologiczne,
- wyników pomiarów zarejestrowanych przez system gazometrii automatycznej w okresie zaistniałego zdarzenia w dniu 18.09.2009 roku.

Dla walidacji budowanego modelu numerycznego rozważanego rejonu przydatne są również dane z systemu gazometrii automatycznej zarejestrowane podczas trwania manewru wentylacji polegającego na zatrzymaniu wentylatora na szybie III. Zatrzymanie wentylatora wywołuje zaburzenie przepływu powietrza i metanu w sieci wyrobisk kopalni (Nieżgoda, 2000). Analiza przebiegów czasowych wartości parametrów rejestrowanych przez czujniki metanometryczne i anemometryczne w rejonie ściany 5 wnosi wiele informacji przydatnych dla walidacji procedur programu komputerowego *VentZrobyN*. Wykonanie badań porównawczych między wynikami symulacji, a zarejestrowanymi przez systemu gazometrii automatycznej stężeniami metanu, prędkości i różnicy ciśnienia stanowić będzie przyszły etap prac, a ponadto pozwoli na ocenę poprawności postępowania dla opracowania wiarygodnego modelu numerycznego.

3.1. Model numeryczny wybranego rejonu – założenia

Przygotowanie danych dla ustalenia parametrów opisujących przepływ powietrza i metanu w zrobach ściany 3 i 5 pok. 409 (rys. 3) w programie *VentZrobyN* wymaga wykonania analizy powyżej wymienionych informacji z uwzględnieniem stanu wentylacji, zagrożenia metanowego i pożarowego oraz zastosowanych środków profilaktyki metanowo-pożarowej np. odmetanowania (Dziurzyński, Wasilewski, 2009).

Przyjęto, że rozpatrywany rejon składa się z zlikwidowanej ściany 3 pokład 409, przylegającej do niej ściany 5 gdzie prowadzona była eksploatacja oraz z wyrobisk przyścianowych doprowadzających i odprowadzających powietrze z rejonu jak również z wyrobisk następnej uruchamianej ściany 4. Na rysunku 1 i 2 pokazano rysunek graficzny opracowanego modelu numerycznego obejmujący rozważaną strukturę połączeń wyrobisk i zrobów oraz przyjęty model numeryczny dla stanu eksploatacji w ścianie 5 o długości 240 metrów i dla 1200 metrowego jej wybiegu.

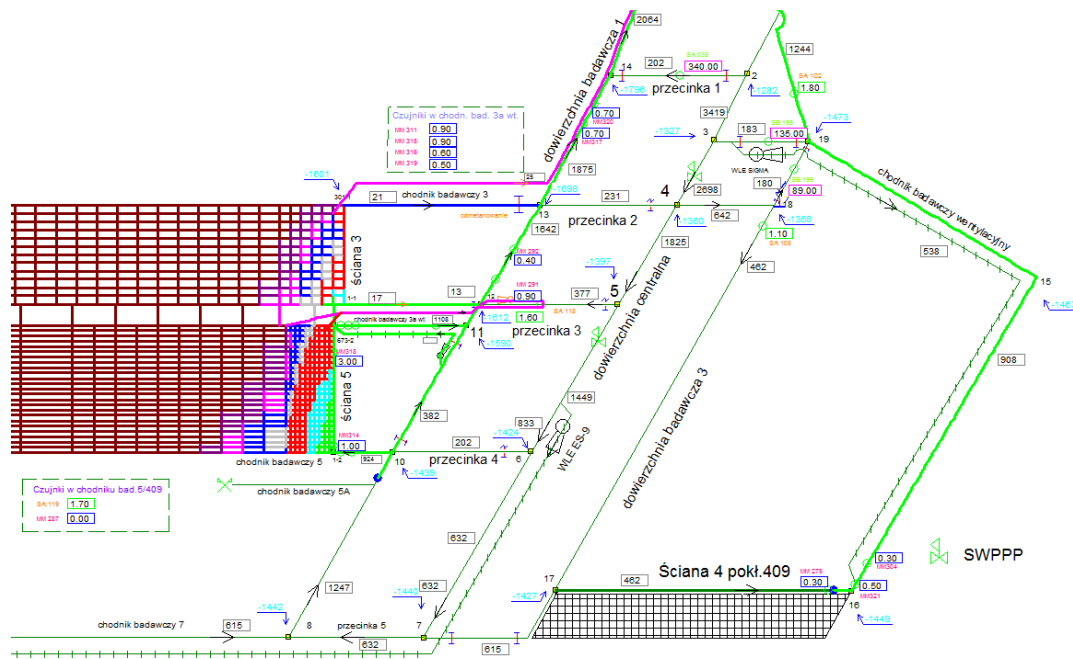
Dane charakteryzujące przepływ mieszaniny powietrza i metanu dla wyrobisk wyznaczono na podstawie danych pomiarowych wykonanych w sieci wyrobisk kopalni po zdarzeniu w dniu 18.09.2010. Dane te uzyskane są na podstawie pomiarów wentylacyjnych, jakie wykonuje się dla wyznaczenia schematu potencjalnego wyrobisk kopalni. Ponadto na tym etapie badań, korygowano wyznaczone opory oraz rozkład gęstości na podstawie wcześniejszych pomiarów wykonywanych w kopalni. Dla planowanych obliczeń symulacji wyłączenia wentylatora wykonano wstępny bilans metanowy rejonu ściany 3 (zlikwidowanej) i ściany 5. Wartości zostały ustalone na podstawie analizy dostępnych danych pochodzących z rejestracji systemu gazometrii automatycznej przed zdarzeniem. Przyjęto, że do obszaru zrobów ściany 3 dopływ metanu jest na poziomie $2,5 \text{ m}^3/\text{min}$, a do zrobów ściany 5 dopływ wynosi $24 \text{ m}^3/\text{min}$, na dolocie do ściany 5 przyjęto dopływ w wysokości $5,1 \text{ m}^3/\text{min}$. Wyznaczone dopływy określają metanowość bezwzględną środowiska rejonu ściany 3 i 5, która wynosi $31,6 \text{ m}^3/\text{min}$.

Dla wyznaczenia danych charakteryzujących przepływ w zrobach ściany 5 i zlikwidowanej ściany 3 wykorzystano teoretyczny model rozkładu przepuszczalności i kształtowania się wysokości zrobów

(Dziurzyński, 2009) oraz dane jakie wynikają z analizy mapy pokładu 409, profili geologicznych, projektu eksploatacji ściany (geometria wyrobisk, koty niwelacyjne, grubość pokładu eksploatowanego, rodzaj skał stropowych). Korzystając z powyżej wymienionych danych wyznaczono parametry charakteryzujące obszar zrobów zgodnie z wymogami zastosowanego modelu matematycznego.

3.2. Wyznaczenie rozptyłu mieszaniny powietrza i metanu w rejonie ściany 5

Ważną czynnością podczas opracowania modelu numerycznego jest wyznaczenie początkowego stanu rozptyłu mieszaniny powietrza i metanu zarówno w wyrobiskach przyścianowych jak i w zrobach (rys. 6). Dla wstępnej weryfikacji wyników obliczeń symulacji wykorzystano dane z rejestracji w systemie gazometrii automatycznej zarówno przez czujniki stężenia metanu jak i anemometry stacjonarne, przy czym skorzystano tu z danych systemu monitoringu w dniu zdarzenia jak i z danych uzyskanych podczas wyłączenia wentylatora na szybie III. Wyniki obliczeń rozptyłu powietrza w rejonie oraz rozkład stężenia metanu w zrobach ściany 3 i 5 pokazano na kolejnych rysunkach nr 6 i 7. Na rysunku 6 w prostokątach umieszczonych przy bocznicach pokazano wartości stężenia metanu i prędkości przepływu rejestrowane w systemie gazometrii, w prostokątach przy bocznicach pokazano obliczoną ilość przepływającego boczną powietrza, a przy węzłach pokazano obliczoną wartości potencjału aerodynamicznego.



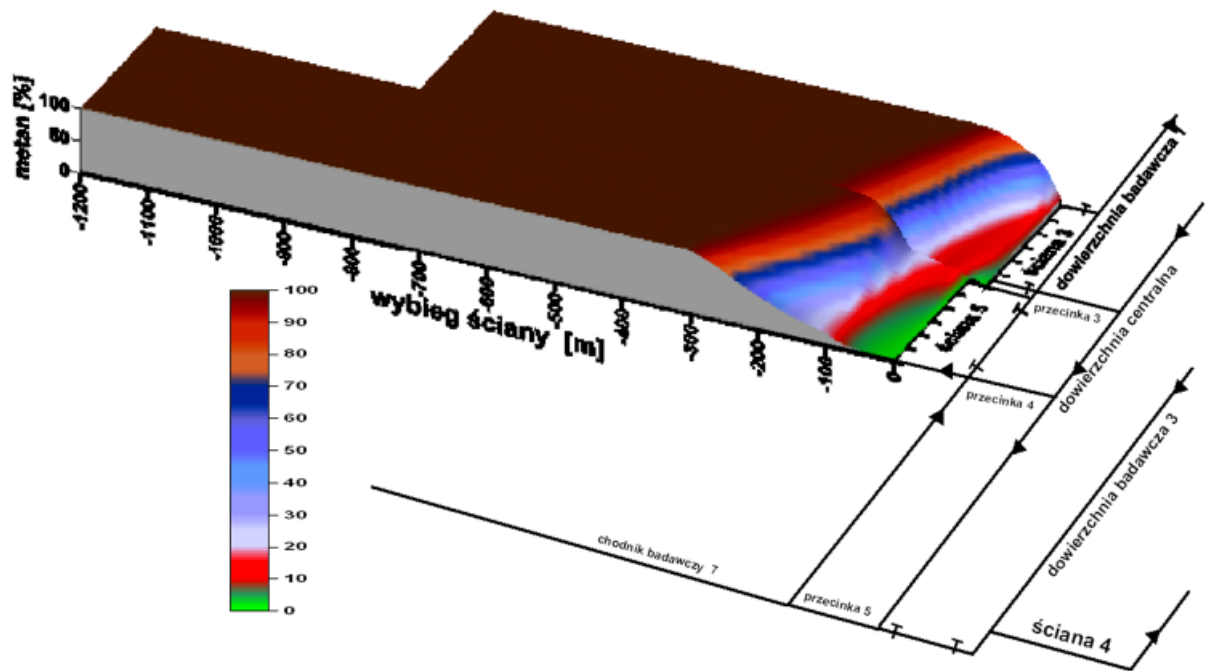
Rys. 6. Schemat przestrzenny rejonu ściany 3 i 5 pokł. 409, rozkład stężenia metanu

Na rysunku 7 pokazano kształtowanie się stężenia metanu w ścianie 3 i 5 oraz na drogach odprowadzających powietrze ze ściany 5 oraz ze zlikwidowanej ściany 3.

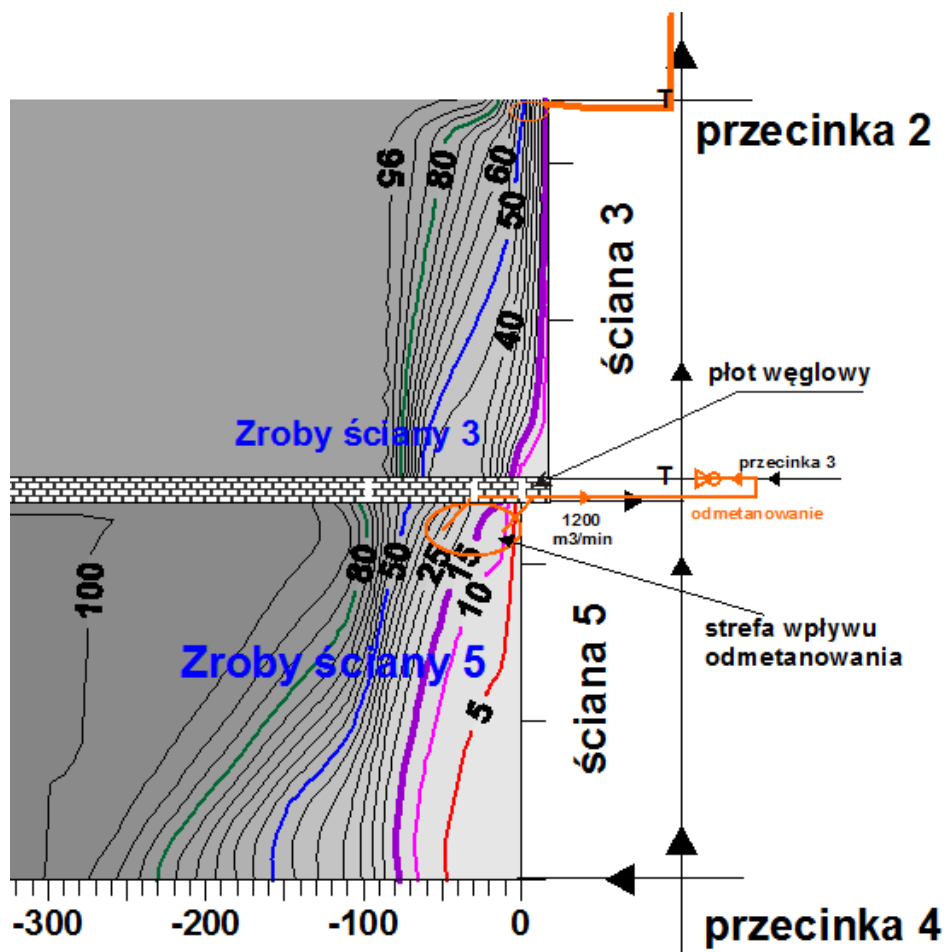
Na rysunku 8 pokazano kształtowanie się izolinii stężenia metanu w ścianie 3 i 5 z zaznaczeniem izolinii stężenia metanu 5% linia czerwona (ciągła) i 15% linia fioletowa (przerywana).

Obserwując przedstawiony rozkład stężenia metanu zwracają uwagę dwie izolinie o wartości 5% CH_4 i 15% CH_4 znajdujące się w niewielkiej odległości od ściany 5. Mimo oddzielenia zrobów ściany 3 i 5 płotem węglowym metan ze ściany 5 migruje do zrobów ściany 3 w której zza tamy izolującej zrobów prowadzone jest odmetanowanie.

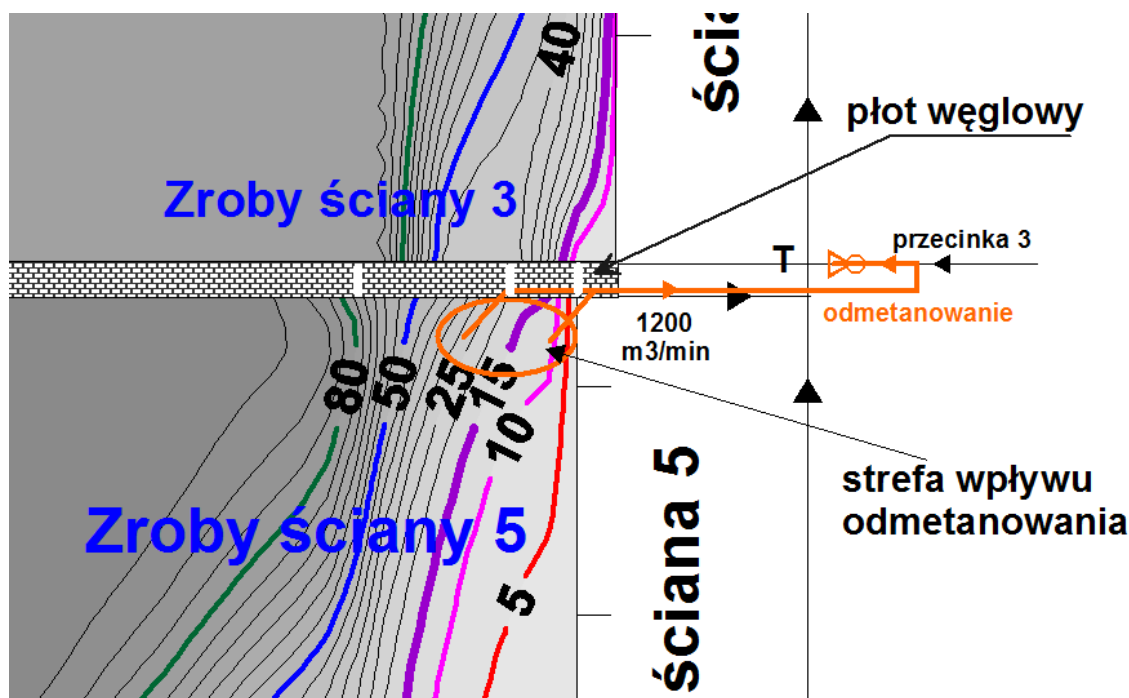
Na rysunku 9 pokazano rozkład metanu w tej części zrobów na który wpływ ma prowadzone odmetanowanie w rejonie wylotu ze ściany 5. Widać wyraźnie zmianę przebiegu izolinii metanu co pokazano na rysunku 9. Wytworzone podciśnienie przez inżektorową stację zlokalizowaną w przecince 3 powoduje zasysanie metanu do otworów drenazowych prowadzonego odmetanowania.



Rys. 7. Rozkład stężenia metanu w zrobach ściany 3/409 i 5/409, stan początkowy



Rys. 8. Izolinie stężenia metanu w zrobach ściany 3/409 i 5/409, stan początkowy



Rys. 9. Izolinie stężenia metanu w zrobach ściany 3/409 i 5/409 – ujęcie metanu ze zrobów ściany 5

3.3. Wyłączenie wentylatora – wyznaczenie rozplywu powietrza i metanu

Zatrzymanie lub rewersja wentylatora głównego przewietrzania w kopalni wywołuje znaczne zaburzenie w przepływie powietrza i gazów w sieci wyrobisk kopalni. W przypadku kopalni metanowej dochodzi do zwiększenia zagrożenia metanowego. Zatrzymanie wentylatora głównego przewietrzania powoduje zmiany rozkładu ciśnienia, wydatku przepływu powietrza a w konsekwencji zmiany w rozkładzie stężenia metanu w zrobach i wyrobiskach kopalni. W pracy (Niezgoda, 2000) autor przedstawił oryginalne wyniki eksperymentalnych badań polegających na wyłączeniu, postoju i załączeniu wentylatorów na kolejnych sztybach wentylacyjnych kopalni. Podczas eksperymentu mierzono i rejestrowano parametry fizyczne przepływającego powietrza w rejonie ścian takie jak stężenie metanu, tlenu węgla oraz prędkości przepływu powietrza.

Obecnie, korzystając z danych z czujników systemu gazometrycznego, podjęto próbę zastosowania ich do celów walidacji modelu numerycznego rejonu zrobów ściany 5 pokład 409 oraz wyrobisk doprowadzających i odprowadzających powietrze z rejonu. Przedstawione wyniki symulacji wyłączenia wentylatora traktuje się jako wstępne badania celem oceny przydatności zebranego materiału pomiarowego oraz zapoznania się z trudnościami wynikającymi z uproszczenia struktury sieci wentylacyjnej na obecnym etapie badań.

Dla przyjętego rejonu wyrobisk (rys. 1) wyselekcjonowano czujniki prędkości, stężenia metanu i różnicy ciśnienia. Rodzaj czujników oraz ich lokalizacja w uproszczonej sieci przedstawiono w zestawieniu tabelarycznym (Tablica 1). Korzystając z opcji programu *VentZrobyN*, umieszczono na rysunku schematu wyrobisk czujniki systemu gazometrycznego pobrane z systemu Zefir. Tym samym dokonano odwzorowania systemu gazometrycznego w wirtualnym obrazie rozważanego rejonu sieci wyrobisk. Następnie przeprowadzono obliczenia programem *VentZrobyN* z uwzględnieniem wyłączenia wentylatora na szybie III.

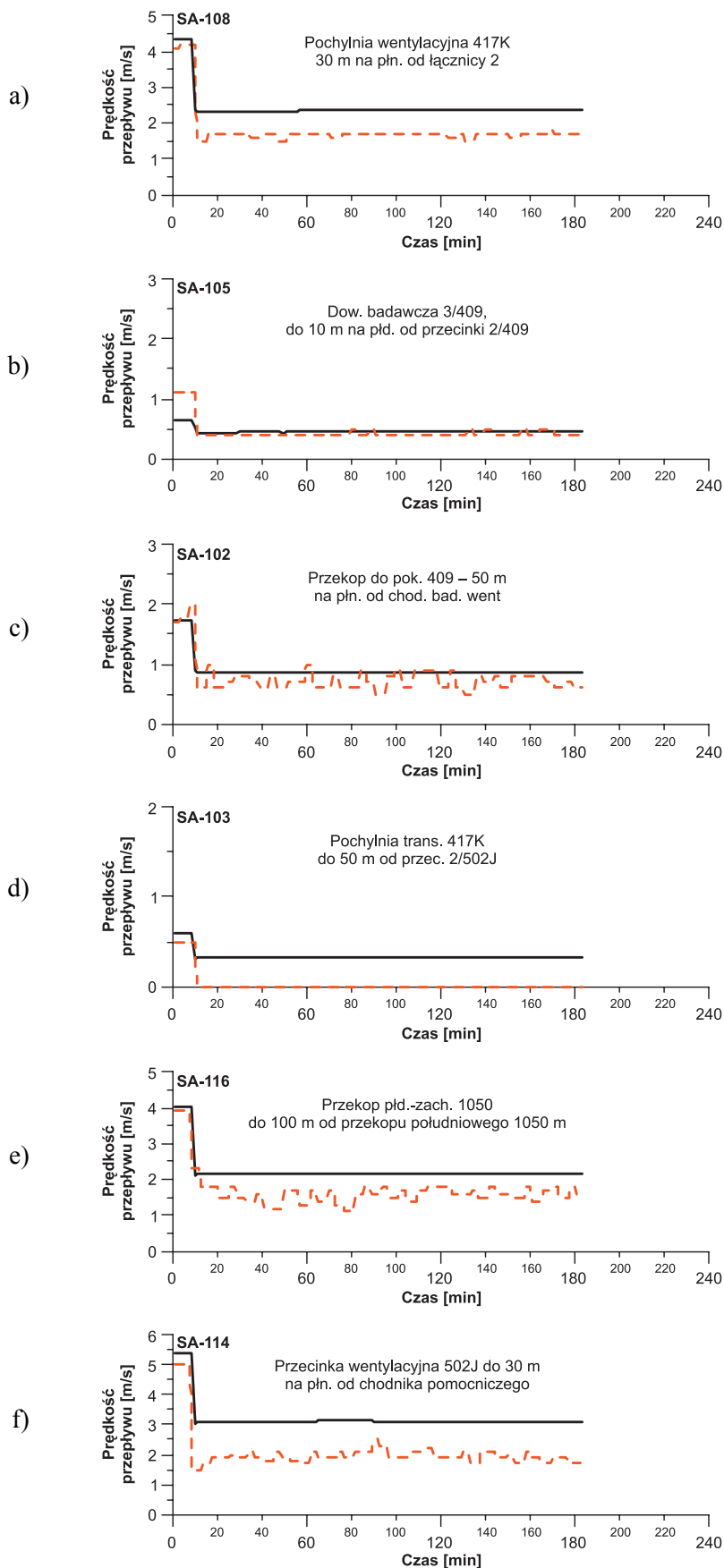
Na kolejnych rysunkach przedstawiono wybrane przebiegi obserwowanych parametrów uzyskane na drodze obliczeń (linia ciągła), które zestawiono z danymi zarejestrowanymi w systemie gazometrii (linia przerywana), przy czym rysunek 10 (od a do g) dotyczy prędkości przepływu, a rysunek 11 (od a do e) dotyczy zmian stężenia metanu.

Przedstawione na rysunkach od 6 do 11 wyniki obliczeń z zastosowaniem programu komputerowego *VentZrobyN* przedstawiają pewien stan wentylacji rejonu ściany 5 wraz z innymi wyrobiskami kopalni, przy czym rozpatrywano sieć uproszczoną. Wyłączenie wentylatora na szybie III miało miejsce w dniu 18.10.2009 roku czyli jeden miesiąc po zdarzeniu. Ten fakt skutkuje mniejszym wydzielaniem metanu w rejonie ściany 5.

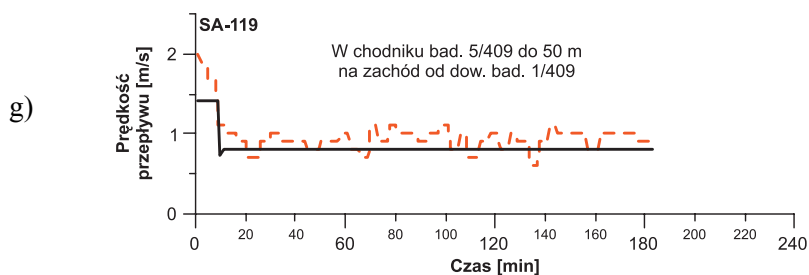
Tab. 1. Czujniki istotne dla wyłączenia wentylatora 18.10.2009 zm. A (8:06:53-11:08:15)

		ANEMOMETRY		
Lp.	Numer	Nazwa czujnika	Lokalizacja czujnika	Bocznice
	SA:102	Swup0102 SAS-2	Przekop do pok. 409 – 50m na pñ. od chod. bad. went	19 – 243A
98	SA:103	Swup0103 SAS-2	Pochylnia trans.417K-do 50m od przec. 2/502J	242 – 233
100	SA:105	Swup0105 SAS-2	Dow. badawcza 3/409, do 10m na pñd od przecinki 2/409	18 – 17
103	SA:108	Swup0108 SAT-1F	Pochylnia wentylacyjna 417K do około 30m na pñ. od łącznicy 2	254 – 267
108	SA:114	Swup0114 SAT-1F	Przecinka wentylacyjna 502J do 30m na pñ. od chodnika pomocniczego	272 – 1
109	SA:116	Swup0116 SAS-2	Przekop pñd.-zach. 1050 do 100m od przekopu południowego 1050m	1 – 483
111	SA:118	Swup0118 SAS-2	Przecinka 3/409- do 20m na zach. od dow. centralnej	5 – 12
112	SA:119	Swup0119 SAS-2	W chodniku bad. 5/409 do 50m na zachód od dow. bad. 1/409	10 – 1-2
TAMY – Różnica ciśnień CRC-MRC				
Lp.	Numer	Nazwa czujnika	Lokalizacja czujnika	
93	SA:035	Swup0035 CRC-6/	Przecinka 1/409 przy SW-2, pomiar pomiędzy dow. bad. 1 a dow. centralną	2 – 14
174	SB:199	Swup0430 CRC MR	Przekop do pokładu 409, 10-15m od pochylni wentylacyjnej	18 – 19
	SB:195	Swup0428 CRC MR	[Pa] Chodnik bad. went. 409 od 10-15m od dow. bad. 3/409	3 – 19
METANOMIERZE śc. 5,7&4 pokł. 409				
Lp.	Numer	Nazwa czujnika	Lokalizacja czujnika	
12	SX:025	Swup0275 Metano	Ściana 4/409, nad skrzynią napędową przenośnika-2 m od wyro	17 – 16
20	SX:037	Swup0287 Metano	Chodnik badawczy 5/409 – 10 do 15m od dowerzchni badawczej	10 – 1-2
22	SX:041	Swup0291 Metano	Przecinka 3/409 – 5m od wylotu z mieszalnika inżektorowej st	13A – 13
23	SX:042	Swup0292 Metano	Dowierzchnia badawcza 1/409 – 10 do 15m na pñ. od przec. 3/	13A – 13
26	SX:045	Swup0295 Metano	Przecinka 5 – do 5m od upadowej południowej 1050	485 – 244
31	SX:050	Swup0300 Metano	Przecinka 5 – 5m od wylotu z mieszalnika inżektorowej stacji	244 – 486
35	SX:054	Swup0304 Metano	Dowierzchnia badawcza 4/409, do 10m od wylotu ze ściany	16 – 15
38	SX:061	Swup0311 Metano	(MM316a)W chod. bad. 3a wt.- w pñn. części chod. ok. 2m prz	673-2 – 11
41	SX:064	Swup0314 Metano	W ścianie 5/409 -do 10m od chodnika badawczego 5	29-2 – 57-2
42	SX:065	Swup0315 Metano	W chodniku bad. 3a wt 409 w odległości do 10m od ściany 5	673-2 – 11
43	SX:066	Swup0316 Metano	W chodniku bad. 3a wt 409 w odległości 2m od szczelnego zawa	673-2 – 11
44	SX:067	SWµP An317 MM2	Dowierzchnia badawcza 1/409-10m na południe od przecinki 1	13 – 14
45	SX:068	Swup0318 Metano	W ścianie 5/409-nad skrzynią napędową przenośnika ścianowego	505-2 – 533-2
46	SX:069	Swup0319 Metano	Chodnik badaw. 3a wtórny 409, 10-15m na zach. od dowerzch.	673-2 – 11
47	SX:070	Swup0320 Metano	Dow bad. 1/409 -10m na pñd. od przecinki 1	13 – 14
48	SX:071	Swup0321 Metano	Dowierzchnia badawcza 4/409, 2-15m od podsadzki lub przegrod	16 – 15

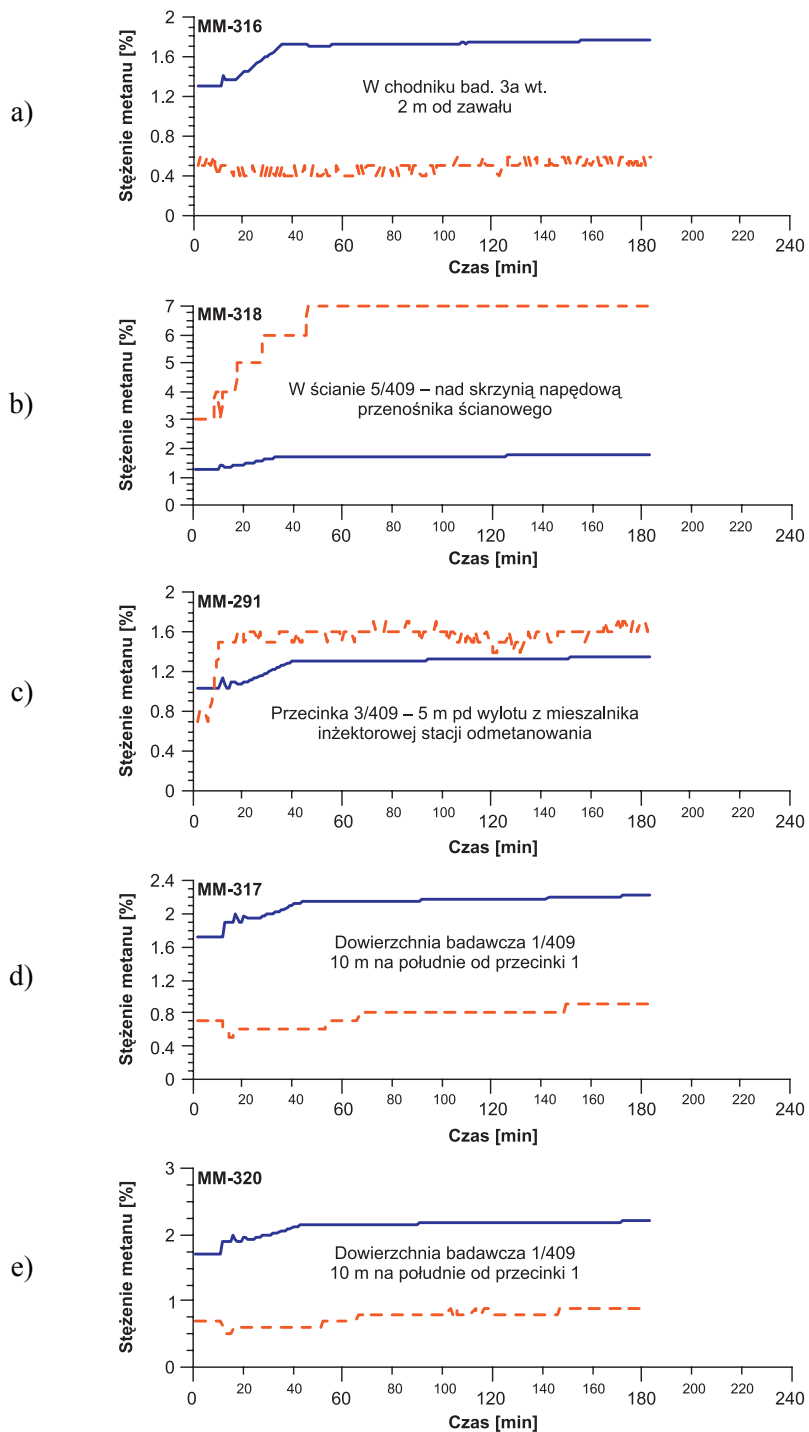
Analizując wyniki przedstawione na wykresach przebiegu zmian prędkości przepływu (rys. 10 od a do f) w wyrobiskach gdzie były zainstalowane stacjonarne anemometry obserwujemy dobrą zgodność wartości mierzonych przez anemometry w stosunku do wyznaczonych drogą symulacji komputerowej. Można zauważyć, że dobór parametrów modelu numerycznego w zakresie wyznaczenia rozptyłu powietrza w rejonie dobrze oddaje rzeczywiste parametry charakteryzujące przepływ powietrza tj. opory aerodynamiczne wyrobisk, koty niwelacyjne węzłów, rozkład gęstości przepływającego powietrza oraz geometrię wyrobisk. Natomiast dobór parametrów związanych z wyznaczaniem rozkładu stężenia metanu obciążony jest błędem, wynikającym z małej ilości informacji pochodzących zarówno z systemu monitoringu jak i pomiarów ręcznych, zwłaszcza odnośnie wielkości i rozkładu dopływu metanu do zrobów, gdzie parametry te nie są bezpośrednio mierzone lecz jedynie pośrednio szacowane z pomiarów stężeń poza zrobami. Ponieważ dla przedstawionych powyżej wyników obliczeń zmian stężenia metanu przyjęto dopływ metanu jaki był przed zdarzeniem, a po zatrzymaniu ściany dopływ metanu uległ obniżeniu, dlatego przebiegi zmian stężenia metanu (rysunek 11 od a do e) na kolejnych czujnikach systemu gazometrycznego kształtują się na niższym poziomie niż to wynika z obliczeń komputerowych.



Rys. 10. Przebieg prędkości na kolejnych czujnikach anemometrycznych systemu gazometrycznego oraz odpowiadające wyniki symulacji (linia ciągła)



Rys. 10 c.d. Przebieg prędkości na kolejnych czujnikach anemometrycznych systemu gazometrycznego oraz odpowiadające wyniki symulacji (linia ciągła)



Rys. 11. Zmiany stężenia metanu na kolejnych czujnikach systemu gazometrycznego oraz odpowiadające wyniki symulacji (linia ciągła)

4. Podsumowanie

Model numeryczny sieci wentylacyjnej kopalni dla rozplywu powietrza uzyskuje się na podstawie złożonych pomiarów wentylacyjnych wykonywanych przy zastosowaniu przyrządów ręcznych takich jak: barometry np. typu μ BAR, anemometrów skrzydełkowych typu μ AS4 oraz psychroaspiratora Assmana, które uzupełniają dane geometrii wyrobisk oraz koty niwelacyjne węzłów. Jak pokazuje praktyka zdarzają się takie przypadki, kiedy trzeba sięgnąć po inne sposoby celem wyznaczenia potrzebnych parametrów. Zasadniczym celem przedstawionych badań było podjęcie próby zbudowania modelu numerycznego z wykorzystaniem systemu gazometrii automatycznej. W takim przypadku stosując metodę walidacji modelu numerycznego podjęto próbę doboru parametrów charakteryzujących przepływ powietrza i rozkład stężenia metanu w przyjętej strukturze wyrobisk kopalni.

Znaczną trudnością w ustaleniu danych początkowych do symulacji był brak danych pomiarowych o parametrach przepływu powietrza (prędkości, ciśnienia itp.) i rozkładu stężenia metanu dla rejonu ściany 5, przed zdarzeniem. Korzystając ze znanej struktury połączeń rozpatrywanego rejonu, map pokładowych i profili geologicznych, danych pomiarowych wykonanych po zdarzeniu oraz obserwacji rejonu przez system gazometrii automatycznej wyznaczono parametry modelu numerycznego, w tym również dla obszaru zrobów ściany 3 i 5 pokład 409.

Następnie poprzez wielokrotne obliczenia programem *VentZrobyN* dobierano parametry modelu tak aby uzyskać najlepsze dopasowanie wyników obliczeń do zarejestrowanych wartości w kopalnianym systemie gazometrii automatycznej. Wyniki obliczeń przedstawiono na rysunkach, przy czym interesującym wynikiem jest rozkład stężenia metanu w zrobach (rys. 8) na którym pokazano obszar objęty mieszaniną metanu i powietrza w granicach od 5% do 15% CH_4 , a wpływ prowadzonego odmetanowania na przebieg izolacji stężenia metanu pokazano na rysunku 9.

Reasumując uzyskane wyniki można stwierdzić, że:

- a. pokazano nowe podejście dla rozszerzenia struktury sieci wentylacyjnej w zakresie budowy modelu numerycznego z uwzględnieniem zrobów ścian eksploatowanych z zawałem stropu,
- b. zbudowany model numeryczny dla uproszczonej sieci wentylacyjnej obejmującej rejon ściany 5 pokład 409 jest obiecujący, jednakże wymaga dalszych badań walidacyjnych, ale dla pełnej sieci wentylacyjnej kopalni Wujek Ruch Śląsk, ze szczególnym uwzględnieniem metod określania dopływu metanu do zrobów,
- c. uzyskane rozwiązania pokazują szerokie spektrum rozpatrywanych zjawisk, co wynika z przyjętego w programie *VentZrobyN* modelu matematycznego (Dziurzyński, Krach, Pałka, Wasilewski, 2010; Krach, 2004; Nawrat, 1999; Szlązak, 2000).

Wyniki badań pokazały szereg trudności w wyznaczaniu parametrów modelu numerycznego z wykorzystaniem danych uzyskanych z czujników kopalnianego systemu gazometrii automatycznej co m.in. wynika z punktowego sposobu pomiarów w tych systemach oraz losowych zaburzeń sygnałów pomiarowych parametrów powietrza. Stwierdzono, że dla wiarygodności danych istotnym elementem jest ich potwierdzenie drogą pomiarów porównawczych, w miejscach zainstalowania czujników systemu monitoringu w wyrobiskach sieci wentylacyjnej kopalni. Losowe zaburzenia parametrów powietrza rejestrowane przez czujniki w systemie gazometrii mogą być eliminowane przez filtrację sygnałów pomiarowych przed ich wykorzystaniem do badań modelowych. Również za celowe uważa się wykonanie dokładnego bilansu metanowego dla całego rejonu ściany 3 i 5 co wymagać będzie kolejnych obliczeń symulacji i walidacji modelu celem dokładniejszego ustalenia parametrów modelu numerycznego rejonu wentylacyjnego.

Praca została wykonana w roku 2010 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

1. Cygankiewicz J., Sułkowski J., Trutwin W., 2010: *Analiza przewietrzania i zagrożenia pożarowego rejonu ściany 5/409 KWK Wujek, Ruch Śląsk w związku z wypadkiem zbiorowym w dniu 18.09.2009 r.* Prace Komisji dla zbadania przyczyn i okoliczności zapalenia i wybuchu metanu oraz wypadku zbiorowego w dniu 18 września 2009 roku, Wyższy Urząd Górniczy w Katowicach.
2. 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, s. 578-582.
3. Dziurzyński W., 2009: *Badania modelowania przepływu mieszania powietrza i gazów w rejonie ściany w aspekcie walidacji wyników komputerowej symulacji.* Przegląd Górniczy, nr 11-12, s. 61-71.
4. Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., Wasilewski St., 2009: *Walidacja procedur programu VentZroby z wykorzystaniem systemu monitoringu stanu atmosfery kopalni.* Prace IMG PAN, T. 11, nr 1-4, s. 79-112.
5. Dziurzyński W., Wasilewski St., 2009: *Monitoring of the air parameters and computer simulation to support fighting with fire hazards in longwall cavings.* 9-ty Międzynarodowy Kongres Wentylacji Kopalń, New Delhi, Indie.
6. Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., Wasilewski St., 2010: *Digital simulation of the gas dynamic phenomena caused by bounce, experiment and validation.* Arch. Min. Sci., Vol. 55, No 3, p. 403-425.
7. 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.* Arch. Min. Sci., Vol. 49, No 1, p. 43-53.
8. Krawczyk J., 2007: *Jedno i wielowymiarowe modele niestacjonarnych przepływów powietrza i gazów w wyrobiskach kopalnianych. Przykłady zastosowań.* Arch. Min. Sci., Monograph, No 2, p. 192.
9. Krawczyk J., Wasilewski S., 2009: *Migration of Methane into Longwall and tailgate crossing.* Mine Ventilation, Ninth International Mine Ventilation Congress, India, p. 483-494.
10. Łukowicz K., Szlązak N., Wasilewski St., 2010: *Analiza zagrożenia metanowego i zabezpieczeń gazometrycznych w rejonie ściany 5 /409 na poziomie 1050 m w K.H.W. S.A. KWK Wujek, Ruch Śląsk w Rudzie Śląskiej.* Prace Komisji dla zbadania przyczyn i okoliczności zapalenia i wybuchu metanu oraz wypadku zbiorowego w dniu 18 września 2009 roku, Wyższy Urząd Górniczy w Katowicach.
11. 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).
12. 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.
13. Szlązak J., 2000: *Przepływ powietrza przez strefę zawalu w świetle badań teoretycznych i eksperymetalnych.* Rozprawy Monografie, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.
14. Wasilewski St., Cimr A., Wach M., 2010: *Ocena zagrożenia pożarowego w zrobach przestrzeniach otamowanych za pomocą czujników gazometrii automatycznej,* XXXVI Dni Techniki ROP 2010, XXVII Seminarium Pożary Podziemne – Teoria i Praktyka, s. 145-161.

Development of a method for forecasting the air condition in the mine using numerical simulations and monitoring data

Abstract

The study summarises the research data to be used for development of a method for forecasting the non-stationary flows of air and gas mixtures in ventilation networks, goafs, and formed during the ventilation processes, taking into account the natural and catastrophic flow disturbances. It is assumed that all vital information about the ventilation conditions are available from the automatic gas flow control system in the mine.

The results of previous attempts to validate the program VenZroby were sufficiently promising and thus prompted the development of a new approach to creating numerical models of ventilation networks in the mines, incorporating the goafs too. It is suggested that numerical models should be used that are developed on the basis of the Ventilation Engineer's Ventgraph program, with incorporated goaf areas. The newly designed program's algorithm and interface seem to be more user-friendly.

The second part of study explores the potential applications of the program VentZroby in analysing the air conditions. The case study considered there is that of the face regions 4 and 5 in the colliery "Śląsk" where a catastrophic accident occurred in September 2009. An attempt is made to reconstruct the ventilation conditions before the accident, taking into account the methane hazard. Such analyses are most helpful when studying the causes of the accident and enable us to develop professional tools for evaluating the risks due to flow and migration of explosive or toxic gases- the products of spreading coal fires in goafs.

To validate the model solutions (prognosticated flows of air and methane in the face region), the monitoring data were used, available from the air velocity and methane concentration control systems after the main fan was switched off. Because of the lack of measurement data about the air flow parameters (velocity, pressure) before the accident, it was difficult to find the initial data for simulations. Calculations supported by the program VentZroby, for variable model parameters, were done such as to achieve the best agreement between the calculation results and data available from the automatic gas flow control systems in the mine.

Results revealed a number of difficulties involved in finding the parameters of the numerical model using the data from the gas flow control system, due to with point-to-point measurements implemented in these systems and random disturbances of airflow measurement signals. To prove the reliability of thus obtained results, they have to be confirmed by comparative measurements taken at those points of the ventilation network in the mine where the monitoring sensors are installed. Random disturbances of airflow parameters registered by the sensors, making up the gas flow control system, can be eliminated through filtering of measurement signals before they are used in model tests.

Keywords: simulation of ventilation processes, validation of the computer program, methane hazard, safety