

Opracowanie narzędzi programowych dla celów odtworzenia zaistniałych zdarzeń i katastrof oraz ich weryfikacja na podstawie danych „post”

WACŁAW DZIURZYŃSKI, STANISŁAW WASILEWSKI, ANDRZEJ KRACH, TERESA PAŁKA

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

Streszczenie

W ostatnich dwóch latach w ramach działalności statutowej w Instytucie Mechaniki Górniczej podjęta została próba opracowania narzędzi programowych opartych na systemie programów komputerowych **Ventgraph** oraz **VentZroby** dla celów odtwarzania procesów zachodzących w czasie zdarzeń i katastrof. Jest rzeczą oczywistą, że takie analizy wykonywane w oparciu o modele i programy komputerowe będą efektywne i skuteczne o ile zostaną zweryfikowane i zwalidowane w oparciu o rzeczywiste dane i rejestracje parametrów powietrza z kopalni nawet uzyskane po zdarzeniu. Taką właśnie metodę weryfikacji i walidacji narzędzi programowych zastosowano w badaniach przedstawionych w artykule.

Kontynuując wcześniejsze prace, zaproponowano opracowanie modelu numerycznego z wykorzystaniem pomiarów wentylacyjnych przeprowadzonych w październiku 2010 roku we wszystkich wyrobiskach kopalni w bazie danych systemu programów komputerowych Inżyniera Wentylacji **Ventgraph**. Korzystając z nowych opcji programu **VentZroby**, do utworzonego modelu numerycznego kopalni dołączono obszar zrobów eksploatowanej we wrześniu 2009 roku rejonu ściany 5, zlikwidowanej ściany 3 oraz rozpoczynającą eksploatację ścianę 4 w pokładzie 409.

W artykule przedstawiono wyniki odtworzenia stanu przewietrzania metodą symulacji numerycznej przed wyłączeniem, w trakcie postoju oraz po załączeniu wentylatora w szybie III kopalni „Śląsk”, z uwzględnieniem dopływu metanu. W badaniach wykorzystano dane zarejestrowane w kopalnianym systemie gazometrii automatycznej tj. prędkości powietrza, stężenia metanu oraz różnicy ciśnień na tamach, a także stężenia metanu w rurociągu odmetanowania ze zrobów. Takie badania pozwalają nie tylko na samą ocenę zjawisk przepływowych ale również na pokazanie zmian stężenia metanu, wywołanych wyłączeniem wentylatora. Ponadto, umożliwiają zbudowanie profesjonalnego narzędzia dla celów odtworzenia zaistniałych zdarzeń i katastrof oraz ich weryfikacji na podstawie danych uzyskanych po zdarzeniu. Potrzebne dane wejściowe do budowy modelu numerycznego sieci wyrobisk uzyskano z: pomiarów wentylacyjnych, z systemu gazometrycznego kopalni oraz z informacji ustnych od służb wentylacyjnych kopalni. Uzyskanie zwalidowanego modelu numerycznego umożliwia wiarygodną wielowariantową symulację zdarzeń, która prowadzi do wyciągnięcia praktycznych wniosków i zrozumienia przyczyn katastroficznych zdarzeń.

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

1. Wprowadzenie

Symulacje komputerowe są coraz szerzej stosowanym narzędziem badawczym, które jest wykorzystywane zarówno do badań modelowych jak i analiz wariantowych procesów przewietrzania w kopalniach, szczególnie w stanach awaryjnych (Dziurzyński i Wasilewski, 2009; Krawczyk i Wasilewski, 2009). Postęp w tym zakresie jest znaczny co doceniają nie tylko krajowe, ale również zagraniczne ośrodki. Wielokrotnie komisje powoływane przez Prezesa WUG badające przyczyny i okoliczności katastrof podejmując próby odtworzenia i opisu zaistniałych zdarzeń sięgają również po obliczenia i symulacje komputerowe (Dziurzyński i in., 2011).

W ostatnich latach w ramach działalności statutowej w Instytucie Mechaniki Górniczej podjęta została próba opracowania narzędzi programowych opartych na systemie programów komputerowych **Ventgraph**

oraz **VentZroby** dla celów odtwarzania procesów zachodzących w czasie zdarzeń i katastrof. Jest rzeczą oczywistą, że takie analizy wykonywane w oparciu o modele i programy komputerową będą efektywne i skuteczne o ile zostaną zweryfikowane i zwalidowane (Dziurzyński i in., 2010) w oparciu o rzeczywiste dane i rejestracje parametrów powietrza z kopalń nawet uzyskane po zdarzeniu.

W teorii identyfikacji procesów najczęściej stosuje się tzw. „eksperyment bierny” polegający na obserwacji parametrów procesu, która pozwala na jego poznawanie jedynie w aktualnym stanie. Znacznie bogatszy i pełniejszy materiał można uzyskać w czasie tzw. „eksperymentu czynnego” czyli podczas obserwacji zmian parametrów wywołanych zamierzonym i kontrolowanym zaburzeniem stanu równowagi procesu.

Taką właśnie metodę weryfikacji i walidacji narzędzi programowych zastosowano w badaniach przedstawionych w artykule, wykorzystując dane i pomiary dostarczone z kopalni oraz dane zarejestrowane w kopalnianym systemie gazometrii automatycznej w czasie wyłączenia wentylatora głównego przewietrzania w szybie IV kopalni „Śląsk”. W badaniach wykorzystano zapisy prędkości powietrza, stężenia metanu oraz różnicy ciśnień na tamach, a także stężenia metanu w rurociągu odmetanowania ze zrobów.

Istotnym elementem badań było uzyskanie wiarygodnego modelu numerycznego sieci wyrobisk kopalni, który uzyskano na podstawie pomiarów wentylacyjnych przeprowadzonych w październiku 2010 roku w wyrobiskach kopalni. Uzyskane dane pomiarowe po odpowiedniej obróbce, pozwoliły na opracowanie bazy danych w standardzie systemu programów komputerowych Inżyniera Wentylacji **Ventgraph**.

Nowe opcje programu **VentZroby** pozwalają na zastosowanie bazy danych systemu **Ventgraph**. Ułatwia to rozbudowę modelu numerycznego sieci wyrobisk w tym przypadku o obszar zrobów eksploatowanej we wrześniu 2009 roku rejonu ściany 5, zlikwidowanej ściany 3 oraz uruchomionej ściany 4 w pokładzie 409. Należy dodać, że rozbudowę modelu numerycznego o rejon ścian i ich zrobów prowadzono na podstawie ustnych informacji od służb wentylacyjnych kopalni, dostępnych materiałów obejmujących projekty eksploatacji ścian oraz sprawozdania z prac Komisji powołanej przez prezesa WUG do zbadania przyczyn i okoliczności zdarzenia, którym był wybuch metanu w rejonie ściany 5 pokład 409 we wrześniu 2009 roku. Dysponując przyjętym modelem numerycznym wyrobisk kopalni podjęto próbę wyznaczenia rozptyłu powietrza i metanu w wyrobiskach kopalni i zrobach rejonu ściany 3 i 5 pokładu 409. Następnie do przyjętego modelu numerycznego przyporządkowano wirtualne czujniki prędkości, metanu i różnicy ciśnienia zgodnie z ich rozmieszczeniem w rzeczywistej sieci wyrobisk w okresie września i października 2009 roku. Tym samym można było rozpocząć procedurę walidacyjną polegającą na symulacji przepływu powietrza i metanu w zrobach i w wyrobiskach kopalni po wyłączeniu i załączeniu wentylatora głównego przewietrzania na szybie III wentylacyjnym kopalni.

Uzyskane wyniki wielu wariantów rozptyłu powietrza i metanu przedstawiono na wspólnym wykresie przebiegów czasowych obserwowanych parametrów przepływającego powietrza. Takie badania pozwalają nie tylko na samą ocenę zjawisk przepływowych, a szczególnie na pokazanie zmian stężenia metanu, wywołanych wyłączeniem wentylatora. Ponadto, umożliwiają zbudowanie profesjonalnego narzędzia dla celów odtworzenia zaistniałych zdarzeń i katastrof oraz ich weryfikacji na podstawie danych uzyskanych po zdarzeniu. Uzyskanie zwalidowanego modelu numerycznego umożliwia wiarygodną wielowariantową symulację zdarzeń, która prowadzi do wyciągnięcia praktycznych wniosków i zrozumienia przyczyn katastroficznych zdarzeń.

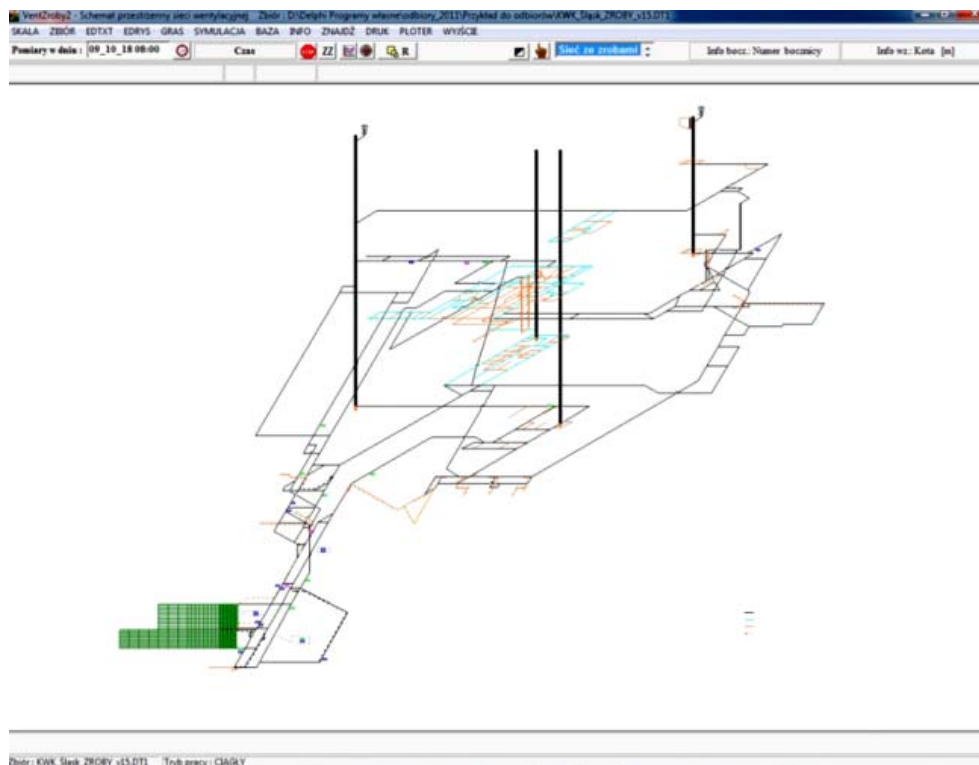
2. Nowe narzędzia programu komputerowego **VentZroby**

Prowadzone w kolejnym roku badania nad rozwojem metody prognozowania niestacjonarnego przepływu mieszaniny powietrza i gazów w sieciach wentylacyjnych z uwzględnieniem zrobów, podczas naturalnych i katastroficznych zaburzeń w warunkach przepływu, spowodowały dalszy rozwój oprogramowania do komputerowej symulacji procesu przewietrzania zrobów i wyrobisk wentylacyjnej sieci kopalni. W programie **VentZroby** poprawiono dotychczasowe, a także zbudowano nowe funkcjonalności programu mające za zadanie ułatwić lub wręcz umożliwić użytkownikowi sprawne i proste posługiwanie się programem w celu uzyskania określonych wyników działania.

Program **VentZroby** umożliwia obserwację zjawisk zachodzących zarówno w rejonach poszczególnych ścian eksploatacyjnych kopalni jak i w całej sieci, jednak dotychczas istniały jedynie dwie możliwości pokazywania tych zjawisk na ekranie:

- tylko w wyrobiskach sieci wentylacyjnej bez obszaru zrobów,
- w wybranym rejonie sieci wraz z obszarem zrobów.

W celu obserwacji zjawisk zachodzących w czasie symulacji procesu przewietrzania zarówno w wyrobiskach całej sieci jak i w zrobach jednocześnie, połączono te dwie możliwości i użytkownik obecnie ma taką możliwość wyboru (Sieć + Zroby) w przewijalnym oknie przeznaczonym do wyboru obszaru sieci do pokazywania na ekranie (Rys. 1).



Rys. 1. Widok ekranu ze schematem przestrzennym sieci wentylacyjnej kopalni KWK Wujek-Ruch Śląsk wraz ze zrobami

2.1. Zmiana oporu eksploatowanej ściany

Dotychczas opory w bocznicach tworzących ścianę na której prowadzone jest wydobywanie węgla musiały być wprowadzane ręcznie przez użytkownika. Było to zadanie mozolne ze względu na zazwyczaj dużą ilość bocznicy ściany, czyli dużą ilość punktów podziału ściany w celu dokładniejszej obserwacji zachodzących zjawisk. Odszukanie ich w tabeli struktury sieci w module EDTXT było kłopotliwe toteż postanowiono zautomatyzować tę czynność.

W panelu edycji zrobów umieszczono dodatkowo okienko edycyjne do wprowadzania oporu dla całej ściany (Rys. 2). Użycie klawisza „Policz opory na ścianie” powoduje podzielenie całkowitego oporu ściany dla kolejnych bocznicy tworzących ścianę. Jeśli panel edycji zrobów został wywołany z poziomu modułu EDTXT, to zostaną one wyświetlone w tabeli danych struktury sieci dla tych bocznicy. Okno do wprowadzania oporu całej ściany jest dostępne tylko wówczas, gdy ściana danego zrobu jest w eksploatacji (ściana może być zlikwidowana ale zrobu są uwzględnione w strukturze połączeń sieci wentylacyjnej), a więc interesujące są również wtedy dla użytkownika dopływy metanu z calizny do zrobów. Dopływy te po zaznaczeniu właściwego przycisku w panelu edycji zrobów, są uwzględnione podczas obliczeń początkowego rozkładu stężenia metanu w zrobach i sieci wentylacyjnej w stanie ustalonym. Dopływ metanu z calizny ustawiany jest w module ‘Symulacja’ dalej opcja „Ustawienia” dalej „Parametry dla kombajnu i przenośnika transportowego”. Dla przejrzystości struktury sieci w tabeli „struktury” te dopływy są wyświetlane jako bocznicy z węzłem wlotowym oznaczonym „1”, z wylotem w kolejnym węźle zrobów oraz typem bocznicy oznaczonym literką „K”. Zmiany oporu można dokonać również w module EDRYS podczas rysowania nowych zrobów lub edycji już istniejących. Jeśli użytkownik uzna że ściana nie jest już eksploatowana to odznaczenie przycisku w panelu spowoduje automatyczne usunięcie ze struktury sieci dopływów z calizny zrobów, czyli bocznicy z literką „K”. Opory na ścianie nie ulegną wówczas zmianie.

2.2. Edytor graficzny EDRYS – edycja zrobów

W edytorze graficznym, w trybie rysowania zrobów, istniała możliwość narysowania obszaru zrobów w postaci prostokąta, który użytkownik mógł podzielić bocznkami wg wymiarów poszczególnych części zrobów podanych w tabeli edytora zrobów. Jeśli rysunek obszaru z jakichś względów nie odpowiadał użyt-

Wybór zrobów

1 zroby 2 zrobów 3 zrobów

Podaj wymiary zrobu [m]: xmax (wybieg ściany) 1200 ymax (długość ściany) 240

ściana w eksploatacji (dopływy z calizny) Opór ściany [kg/m7] 0.50000

Podaj podział w y-u [m]: 20 Ilość punktów podziału w y-u: 13

Podaj kąty [m] dla punktów: (0,0) -793.0 (0,y pocz) -777.2
(xmax,0) -823.4 (xmax,ymax) -794.7

Podaj wymiary i podziały poszczególnych części w x-ie [m]:

L.p.	Wymiar x[m]	Wymiar y[m]	Podział dx	Il.punkt.	kota1[m]	kota2[m]	kota3[m]
1	180	240	10	19	-793.0	-776.9	0.0
2	320	240	40	9	-809.0	-786.0	0.0
3	700	240	100	8	-812.0	-790.0	0.0
4							

Zmiana wymiarów zrobu na rysunku

Zmień wymiary Przerysuj

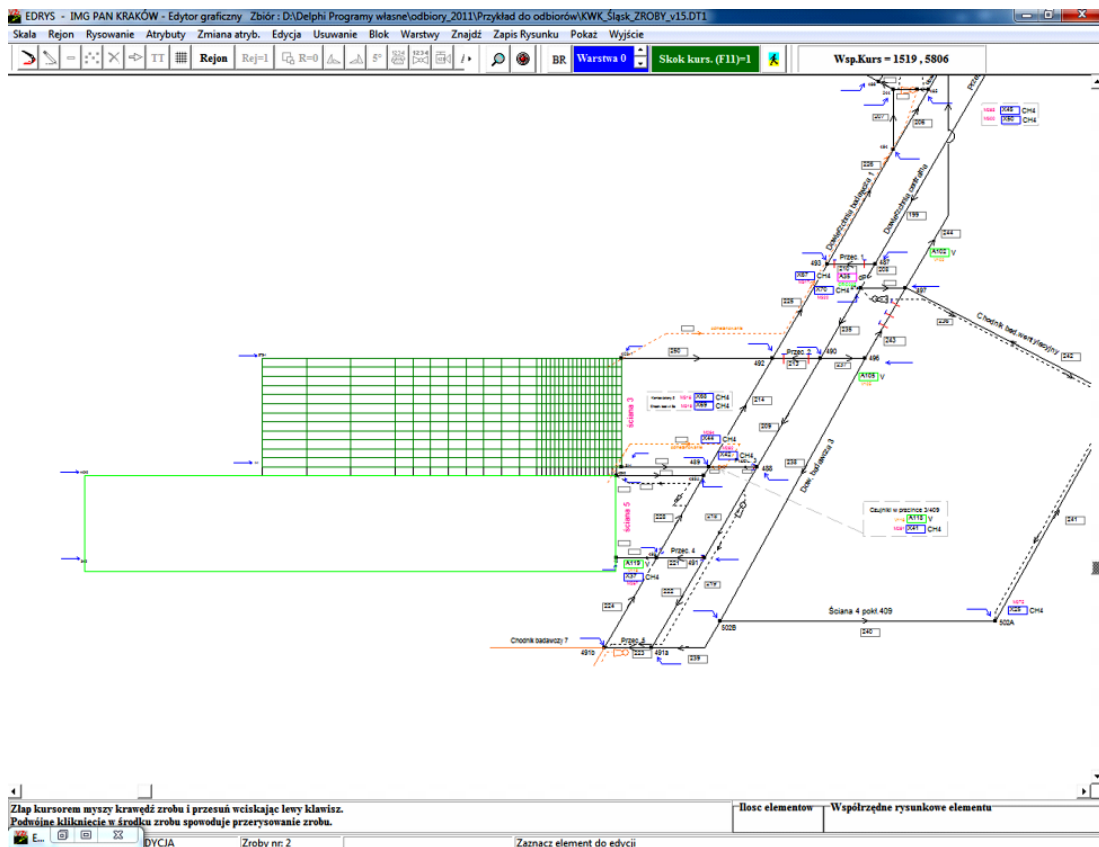
Ustaw parametry zrobu Policz zroby nr 2 Dołącz do sieci Usuń zroby

Policz kąty Policz opory na ścianie Zapisz dane zrobu

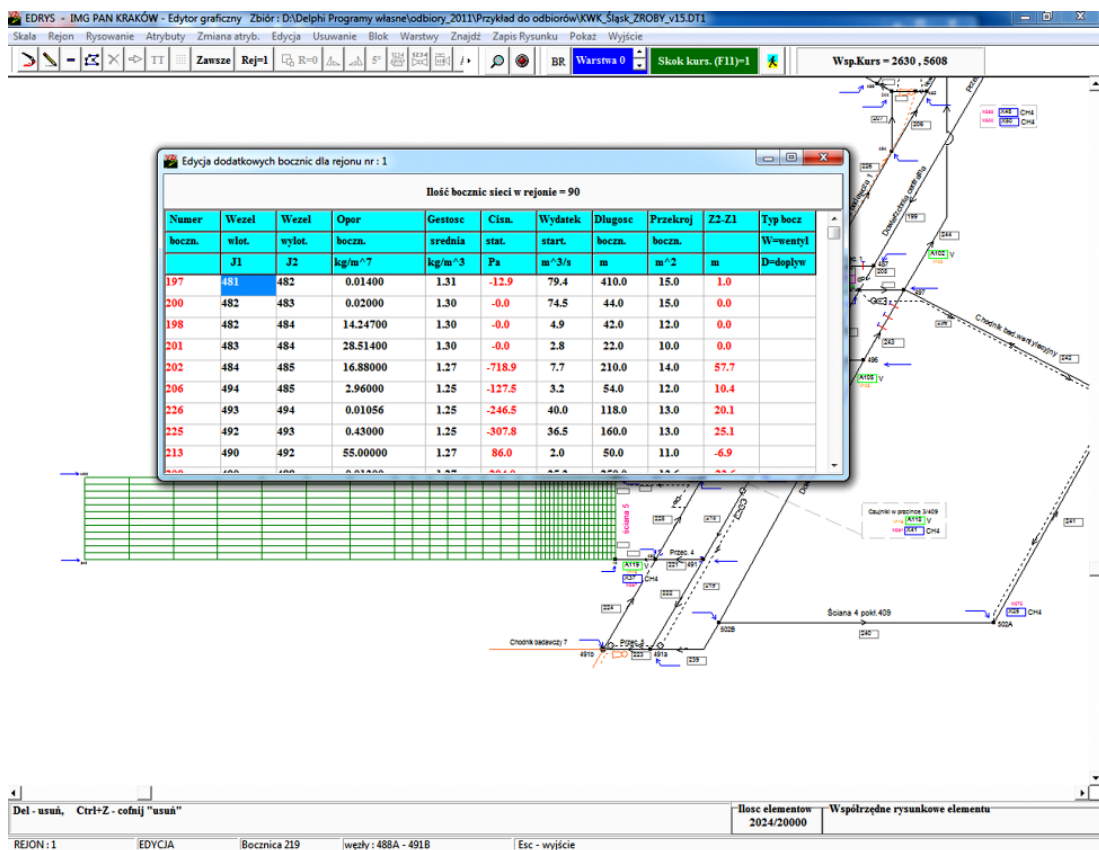
Rys. 2. Panel edycji zrobów

kownikowi należało go usunąć za pomocą klawisza „Usuń zroby” i narysować od nowa. Często narysowanie odpowiedniego prostokąta oznaczającego obszar zrobów w stosunku do istniejących wyrobisk sieci nastęrczało znaczne trudności, zwłaszcza jeśli trzeba go było połączyć z narysowanymi już bocznkami sieci. Dlatego w celu ułatwienia użytkownikowi przeprowadzania zmian samego rysunku zrobów na ekranie bez zmian w podziale zrobów w module EDRYS w opcji „Edycja” dalej „Zrobów” można wywołać dodatkowy panel „Zmiana wymiarów zrobu na rysunku” (Rys. 2). Zawiera on 2 klawisze które są aktywne tylko podczas edycji narysowanego już zrobu (nie podczas rysowania). Użycie klawisza „Zmień wymiary” powoduje usunięcie z ekranu wszystkich bocznic tworzących zroby i pozostawienie jedynie konturu zrobów w postaci zielonego prostokąta (Rys. 3). W celu zmiany wymiarów rysunkowych zrobów należy zbliżyć kursor myszy do dowolnego boku prostokąta (zmiana jego postaci na krzyżyk), wcisnąć lewy klawisz myszy oraz pociągnąć złapany bok w określonym przez użytkownika kierunku. Podwójne kliknięcie w środek obszaru spowoduje wrysowanie bocznic zrobowych zgodnie z podanym podziałem. W przypadku gdy użytkownik chce zmienić również podział zrobów na części lub podział tych części na inną ilość punktów należy usunąć zroby i narysować je od nowa.

W module EDRYS umieszczono również dodatkowy przycisk „BR”. Jego wciśnięcie spowoduje wyświetlenie tablicy ze strukturą danych dla wszystkich bocznic sieci przypisanych do pokazywanego rejonu sieci z wyjątkiem bocznic zrobowych (Rys. 4).



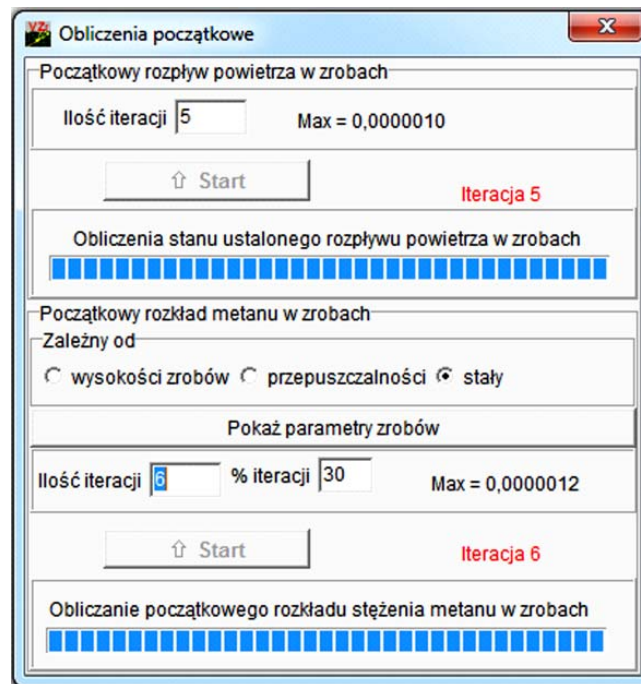
Rys. 3. Zmiana wymiarów rysunkowych istniejących już zrobów



Rys. 4. Tabela bocznic edytowanego rejonu

2.3. Symulacja – Obliczenia początkowego rozkładu metanu w zrobach

Przed przystąpieniem do symulacji niestacjonarnego przepływu mieszaniny powietrza i gazów w sieciach wentylacyjnych z uwzględnieniem zrobów, przeprowadza się najpierw obliczenia stanu ustalonego rozpyłu powietrza bez uwzględniania dopływu metanu do zrobów. W celu uzyskania dobrych wyników obliczeń strumieni masy przeprowadza się je w pętli iteracyjnej, aż do uzyskania najlepszej dokładności obliczeń tych strumieni. Użytkownik ma możliwość samodzielnego sterowania ilością iteracji dla przeprowadzanych obliczeń w celu uzyskania jak najlepszego wyniku (Rys. 5). Obok okienka do wprowadzania ilości iteracji dla obliczeń stanu ustalonego rozpyłu powietrza w zrobach jest wypisywana największa wartość różnicy strumieni masy dla bocznic sieci liczona dla danego i poprzedniego kroku iteracyjnego (Max). Dobrze przybliżenie liczonych wartości otrzymuje się przy możliwie jak najmniejszych wartościach tej różnicy, przy czym zaleca się aby wartość Max była < 0.01 .



Rys. 5. Panel do obliczeń początkowych rozpyłu powietrza oraz początkowego rozkładu stężenia metanu w zrobach

Po uzyskaniu początkowego rozpyłu powietrza w sieci wentylacyjnej i zrobach obliczany jest początkowy rozkład stężenia metanu w sieci z uwzględnieniem rozłożonego dopływu metanu w zrobach oraz dopływu metanu z kalizny urabianej ściany. W programie *VentZroby* przyjęto, że dopływ metanu tzw. metanowość zrobów wprowadzana jest w module EDTXT opcja „Zroby” dalej opcja „Parametry zrobów”. Z uwagi na to, że zagadnienie rozłożenia dopływu metanu w zrobach nie jest zadawalająco rozpoznane badaniami „in situ” przyjęto trzy sposoby realizacji dopływu metanu do obszaru zrobów w zależności od:

- wysokości zrobów w poszczególnych punktach obliczeniowych (węzłach) ,
- przepuszczalności zrobów w tych punktach,
- przy równomiernie rozłożonej metanowości w poszczególnych punktach zrobów.

Po wyborze sposobu, dopływ metanu do poszczególnych punktów zrobów oblicza się zgodnie z kształtowaniem się wysokości zrobów lub rozkładem przepuszczalności zrobów. Oznacza to, że dopływ metanu w obszarze zrobów x, y jest nierównomierny i proporcjonalny do kształtowania się wysokości lub rozkładu przepuszczalności zrobów. Parametry służące do obliczeń początkowego rozkładu stężenia metanu w zrobach przed przystąpieniem do symulacji niestacjonarnych przepływów powietrza i mieszaniny gazów wprowadza się w oknie „Parametry dla metanu w zrobach” (rys. 6).

Wysokości w zrobach oraz przepuszczalności w kolejnych punktach obliczane są na podstawie parametrów wprowadzonych w panelu „Parametry zrobów” podczas edycji zrobów (rys. 6). Wysokość

Wybór zrobów
 1 zrobny 2 zrobny 3 zrobny

Wybieg ściany [m]: 810
Długość ściany [m]: 240

Parametry dla obliczeń

Odległość do strefy zawału uszczelnionego [m]: 200
Odległość od maksymalnej wysokości zrobów [m]: 60
Metanowość zrobów [m3/min]: 3,000
Grubość pokładu [m]: 2,4

Przepuszczalność na brzegach:

brzeg 1	1.60000	brzeg 2	1.00000
brzeg 3	1.00000	brzeg 4	1.00000
ah	0.0722215	bh	0.00501586
ay0	0.10	tau	0.0060

Porowatość:
początkowa 0.50 pośrednia 0.30 minimalna 0.20

Korekcja: 0.40 fp 0.0

Przepuszczalność:

początkowa	5.2E-0008
pośrednia	6.0E-0009
minimalna	3.000E-0009

Wsp. przep. Wx: 0.60 Wsp. przep. Wkk: 0.60

Parametry dla metanu w zrobach

Odległość do strefy zawału uszczelnionego [m]: 200
Odległość od maksymalnej wysokości zrobów [m]: 60
Metanowość zrobów [m3/min]: 3,000
Grubość pokładu [m]: 2,4

Przepuszczalność na brzegach:

brzeg 1	0.00020	brzeg 2	0.00020
brzeg 3	0.00020	brzeg 4	0.00020
ah	0.0722215	bh	0.00501586
ay0	0.10	tau	0.0060

Korekcja: 0.40 fp 0.0

P1

początkowa	8.0E-0008
pośrednia	5.0E-0009
minimalna	3.500E-0009

Parametry płotów

Płot	Grubość pokładu [m]	Przepuszczalność
1	2.00	1.300E-08
2	0.00	1.300E-08
3	0.00	1.300E-08

Rys. 6. Panel do wprowadzania parametrów zrobów dla obliczeń rozkładu stężenia metanu

zrobów w jego dowolnym punkcie jest zależna od grubości pokładu, rozmiarów zrobów oraz odległości tego punktu od początku zrobów. Przepuszczalność w danym punkcie obliczana jest z podanej początkowej, pośredniej i minimalnej przepuszczalności w zależności od odległości od strefy zawału uszczelnionego oraz odległości od maksymalnej wysokości zrobów a także współczynników przepuszczalności W_x i W_{kk} . Przy równomiernym rozkładzie dopływu metanu w zrobach wartość metanowości wprowadzonej w tym oknie dzielona jest na odpowiednią ilość punktów podziału zrobów. Początkowy rozkład metanu w zrobach jest również obliczany w pętli iteracyjnej w zależności od potrzeb użytkownika i możliwości osiągnięcia jak największej dokładności obliczeń.

3. Eksperyment zatrzymania wentylatora w kopalni Śląsk-Wujek

Obserwacja parametrów procesu tzw. „eksperyment bierny” pozwala na jego poznawanie jedynie w jego aktualnym stanie. Znacznie bogatszy i pełniejszy materiał można uzyskać w czasie tzw. „eksperymentu czynnego” czyli w czasie obserwacji zmian parametrów wywołanych zamierzonym i kontrolowanym zaburzeniu stanu równowagi procesu. Taką właśnie metodę zastosowano do weryfikacji i walidacji narzędzi programowych dla celów odtworzenia zaistniałych zdarzeń i katastrof opracowanych na bazie systemu **Ventgraf** oraz **Venztroby**. Wykorzystując do tego celu dane zarejestrowane w kopalnianym systemie gazometrii automatycznej w czasie wyłączenia wentylatora głównego przewietrzania w szybie III kopalni Wujek-Ruch Śląsk.

Wyłączenie wentylatora na szybie III kopalni Wujek ruch Śląsk miało miejsce w niedzielę 18.10.2009 roku czyli jeden miesiąc po zdarzeniu zapalenia i wybuchu metanu, które miało miejsce w ścianie 5 pokład 409 w dniu 18.09.2010 roku. Eksperyment wykonany za zgodą Kierownika Ruchu Zakładu Górniczego przeprowadzono z zachowaniem wszelkich rygorów bezpieczeństwa bez udziału górników w podziemnych wyrobiskach oraz pod rygiem ścisłej kontroli parametrów powietrza w kopalnianym systemie gazometrii automatycznej. W badaniach wykorzystano zapisy prędkości powietrza, stężenia metanu oraz różnicy ciśnień na tamach, a także stężenia metanu w rurociągu odmetanowania ze zrobów, zarejestrowane

w czasie eksperymentu w archiwach kopalnianego systemu nadzoru dyspozytorskiego ZEFIR oraz systemu wspomagania dyspozytora bezpieczeństwa SW μ P.

Przyjęta konfiguracja kopalnianego systemu nadzoru dyspozytorskiego w zakresie zabezpieczeń metanometrycznych oparta była na systemie monitorowania środowiska typu SMP-NT z cyklem rejestracji co 2 sekundy.

Anemometry zabudowane w wyrobiskach kopalni zostały włączone przez centrale CMM-20 do systemu SW μ P. Należy zaznaczyć, że analogowe centrale CMM-20 umożliwiają pomiar i rejestrację sygnałów z cyklem co 4 minuty. Do central CMM-20 zostały również włączone czujniki różnicy ciśnień na tamach typu CRC natomiast pozostałe czujniki różnicy ciśnień na tamach (typu MRC) zostały włączone do systemu SMP-NT, a zatem były rejestrowane co 2 sekundy.

Czujniki stanu pracy urządzeń w tym praca/postój wentylatorów głównych i lutniowych oraz otwarcie/zamknięcie tam wentylacji były włączone poprzez systemu CTT-32 do systemu nadzoru ZEFIR, gdzie ich stan był rejestrowany w cyklu co 1 sekundę.

Do obserwacji skutków zatrzymania i ponownego uruchomienia wentylatora głównego wykorzystano czujniki kopalnianego systemu zabudowany w wyrobiskach kopalni, w tym 10 anemometrów typu SAS-2 i SAT-1F, 14 metanomierzy typu MM-2, MM-2P, MM-2PW oraz MM-4, jeden metanomierz MM-2A w rurociągu odmetanowania oraz trzy czujniki różnicy ciśnień w tym jeden CRC oraz dwa typu MRC1250. Stan pracy wentylatora głównego, w tym moment wyłączenia i ponownego jego uruchomienia był kontrolowany za pomocą czujnika prądu CPP-1. Wykaz czujników wykorzystanych do obserwacji parametrów powietrza w eksperymencie zatrzymania i uruchomienia wentylatora głównego przewietrzania na szybie III kopalni Śląsk zestawiono w tablicy nr 1.

Znacznie więcej informacji o dynamice procesu i zakresie zmian parametrów można odczytać z rejestracji czujników stężenia metanu, które były włączone do systemu gazometrii przez system SMP-NT z cyklem odczytu i rejestracji co 2 sekundy. W tym przypadku można odczytać, że już 43 sekundy po wyłączeniu wentylatora tj. o godzinie 8:07:36 spadek stężenia metanu zarejestrował czujnik M311 zabudowany w chodniku badawczym 3a wtórnym, a 10 sekund później tj. o godzinie 8:07:46 systematyczny wzrost stężenia metanu zarejestrował czujnik M291 zabudowany w przecince 3/409 i w tym samym czasie spadek stężenia metanu zarejestrował również czujnik M321 zabudowany w dowierzchni badawczej 4/409.

Załączenie wentylatora na szybie III zarejestrował czujnik WENT025 o godzinie 11:08:15.

Podsumowując te obserwacje stanów niestabilnych parametrów powietrza można stwierdzić, że z uwagi na tak zróżnicowany sposób rejestracji danych w kopalnianym systemie gazometrii w czasie eksperymentu wyłączenia i załączenia wentylatora głównego właściwsze było odnoszenie się do stanów ustalonych rejestrowanych przez czujniki parametrów powietrza w okresie przed i w czasie wyłączenia oraz po ponownym uruchomieniu wentylatora, które miało miejsce po 3 godzinnym okresie postoju.

Należy podkreślić, że z uwagi na konfigurację systemu monitorowania parametrów w kopalni Wujek Ruch Śląsk, zrezygnowano ze szczegółowej analizy stanów niestabilnych w czasie eksperymentu wyłączenia i ponownego uruchomienia wentylatora. Równocześnie jednak nie można umniejszyć wartości danych rejestrowanych w tym czasie w systemie gazometrii do weryfikacji i walidacji narzędzi programowych opartych na systemie *Ventgraph* i *VentZroby*, do czego wykorzystano stany ustalone parametrów powietrza zarejestrowane przed i po zdarzeniu.

Wyłączenie i ponowne uruchomienie wentylatora głównego na szybie III w kopalni Wujek Ruch Śląsk było zarejestrowane w kopalnianym systemie nadzoru ZEFIR przez czujniki prędkości powietrza, stężenia metanu oraz różnicy ciśnień i na tamach oraz stężenia metanu w rurociągu odmetanowania.

Przebiegi parametrów zarejestrowano w bazie danych systemu ZEFIR pokazano na rysunkach łącznie z wynikami komputerowej symulacji.

Tab. 1. Parametry czujników z systemu gazometrii w KWK Wujek Ruch Śląsk

Lp.	Numer linii czujnika	Numer czujnika	Jednostka	Typ	Lokalizacja
1	2	3	4	5	6
1	SA:102	V102	[m/s]	SAS-2	Przekop do pokładu 409 – 50 m na płn. od chodn. wentyl. bad.
2	SA:103	V103	[m/s]	SAS-2	Pochylnia trans. 417K – do 50 m od przec. 2/502J
3	SA:104	V104	[m/s]	SAS5	Przekop zach. 1050 – wlot powietrza do warsztatu remontowego akumulatorni
4	SA:105	V105	[m/s]	SAS-2	Dow. badawcza 3/409, do 10 m na pld. od przecinki 2/409

1	2	3	4	5	6
5	SA:108	V108	[m/s]	SAT-1F	Pochylnia wentylacyjna 417K do około 30 m na płn. od łącznicy 2
6	SA:113	V113	[m/s]	SAS-2	Przekop zachodni poz. 765 m, do 30 m na zach. od przekopu wentyl. z komór
7	SA:114	V114	[m/s]	SAT-1F	Przecinka wentylacyjna 502J do 30 m na płn. od chodnika pomocniczego
8	SA:116	V116	[m/s]	SAS-2	Przekop pld.-zach. 1050 do 100 m od przekopu południowego 1050m
9	SA:118	V118	[m/s]	SAS-2	Przecinka 3/409 – do 20 m na zach. od dow. centralnej
10	SA:119	V119	[m/s]	SAS-2	W chodniku bad. 5/409 do 50 m na zachód od dow. bad. 1/409
11	SA:209	M209	[%CH ₄]	MM-2	Poch. taśmowa 417K 10-15 m na pld od dowierzchni badawczej 1
12	SA:227	M227	[%CH ₄]	MM-2PW	Pochylnia taśmowa 417K, przy rozdzielnicy RE-11
13	SX:025	M275	[%CH ₄]	MM-2PW	Ściana 4/409, nad skrzynią napędową przenośnika – 2 m od wyro
14	SX:040	M290	[%CH ₄]	MM-2P	Pochylnia wentyl. w odległości 10-15 m na wsch. od przekopu
15	SX:041	M291	[%CH ₄]	MM-2P	Przecinka 3/409 – 5 m od wylotu z mieszalnika inżektorowej st
16	SX:067	M317	[%CH ₄]	MM-2PW	Dowierzchnia badawcza 1/409 – 10 m na południe od przecinki 1
17	SX:068	M318	[%CH ₄]	MM-2PW	W ścianie 5/409 – nad skrzynią napędową przenośnika ścianowego
18	SX:069	M319	[%CH ₄]	MM-2PW	Chodnik badaw. 3a wtórny 409, 10-15 m na zach. od dowierzch.
19	SX:070	M320	[%CH ₄]	MM-2P	Dow. bad. 1/409 – 10 m na pld. od przecinki 1
20	SX:110	M360	[%CH ₄]	MM-4	Przekop zachodni poziom 765 m, 10-15 m na zach. od przekopu we
21	SX:037	M287	[%CH ₄]	MM-4	Chodnik badawczy 5/409 – 10 do 15 m od dowierzchni badawczej
22	SX:042	M292	[%CH ₄]	MM-4	Dowierzchnia badawcza 1/409 – 10 do 15 m na płn. od przec. 3
23	SX:045	M295	[%CH ₄]	MM-4	Przecinka 5 – do 5 m od upadowej południowej 1050
24	SX:050	M300	[%CH ₄]	MM-4	Przecinka 5 – 5 m od wylotu z mieszalnika inżektorowej stacji
25	SX:044	M294	[%CH ₄]	MM-2A	Przecinka 3/409 – w rurociągu odmetanowania inżektorowej stacji (Metanomierz MM-2A)
26	SA:035	CRC035	[Pa]	CRC-6/1	Przecinka 1/409 przy SW-2, pomiar pomiędzy dow. bad. 1 a dow. centralną
27	SX:179	MRC429	[Pa]	MRC1250	Przekop zachodni poz. 765 m
28	SX:180	MRC430	[Pa]	MRC1250	Przekop do pokładu 409, 10-15 m od pochylni wentylacyjnej
29	SW:025	WENT025	[Pa]	CPP-1	Wentylator 1#3

4. Przygotowanie komputerowej bazy danych charakteryzujących przepływ powietrza w sieci wyrobisk kopalni

4.1. Rozbudowa modelu numerycznego o rejon ścian 3, 4 i 5 w pokładzie 409

W okresie września 2009 roku kopalnia Wujek Ruch Śląsk, 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 przygotowanie danych potrzebnych do opracowania modelu numerycznego całej kopalni rozpoczęto od wykonania specjalistycznych pomiarów wentylacyjnych w wyrobiskach kopalni, które zrealizował Instytut Mechaniki Górniczej PAN w dniu 10.10.2010 roku wspólnie z pracownikami działu wentylacji kopalni Wujek Ruch Śląsk.

Jednym z celów tych pomiarów, zleconych przez kopalnię było opracowanie bazy danych w systemie programów inżyniera wentylacji *Ventgraph*, która potrzebna była dla realizacji wdrożenia wymienionego oprogramowania wentylacyjnego do codziennego użytku przez kopalnię. Należy zauważyć i uznać za pozytywne, że kierownictwo kopalni i służby wentylacyjne podjęły wysiłek i wprowadziły nowoczesne narzędzia wspomagania pracy działu wentylacji w zakresie prognozowania zagrożenia pożarowo-metanowego, co jak wykazuje praktyka z innych kopalń, zwiększa poziomu bezpieczeństwa pracy systemu wentylacji kopalni metanowej.

Dla celów niniejszych badań, z uwagi na stan prowadzonych robót górniczych w dniu pomiarów dokonano adaptacji opracowanego modelu numerycznego wg stanu z dnia 10.10.2010 do stanu wyrobisk górniczych w dniu planowego postoju wentylatora na szybie III kopalni Wujek-Ruch Śląsk, który miało miejsce w dniu 18 października 2009 zm. A w godz. od 8:06:53 do godz. 11:08:15.

W pierwszej kolejności dołączono do struktury wyrobisk rejon ścian w pokładzie 409, który obejmował wyrobiska i zroby:

- ściany 3, która zakończyła eksploatację przed uruchomieniem ściany 5 w pokładzie 409,
- ściany 5, w której w dniu 18 września 2009 roku miało miejsce zapalenie i wybuch metanu,
- ściany 4, która rozpoczęła eksploatację w pokładzie 409.

Dla przygotowania danych dla wymienionych wyrobisk i zrobów wykorzystano dane będące w posiadaniu kopalni w roku 2009:

- wyniki pomiarów wentylacyjnych wykonanych przez kopalnię, w tym schemat potencjalny rejonu z roku 2008,
- dane projektowe o rejonie eksploatacji, profile chodników przyścianowych i pozostałych wyrobisk,
- mapy pokładowe, profile geologiczne,

Istotne w badaniach walidacyjnych są wyniki pomiarów zarejestrowanych przez system gazometrii automatycznej w okresie zaistniałego zdarzenia przed i w dniu 18.09.2009 roku.

Rozbudowę modelu numerycznego rozpoczęto od analizy dostępnej informacji w zakresie wentylacji oraz zagrożenia metanowego i pożarowego w miesiącu wrześniu 2009 roku. Skorzystano również z danych wentylacyjnych zawartych w ekspertyzach Komisji dla zbadania przyczyn i okoliczności zapalenia i wybuchu metanu oraz wypadku zbiorowego w dniu 18 września 2009 roku (Cygankiewicz i in., 2010; Łukowicz i in., 2010). Dokonano również analizy rozkładu stężeń metanu i rozplywu powietrza w zrobach ściany 5 przedstawionych w monografii J. Szlązaka (2010).

Ponadto dla przygotowania danych początkowych do badań modelowych odbyto w roku 2011 kolejne spotkania z pracownikami działu wentylacji kopalni celem uzyskania szczegółowych informacji dotyczących rejonu w zakresie:

- dokładnej lokalizacji czujników gazometrii w całej kopalni w dniu postoju wentylatora,
- pracy wentylatorów pomocniczych, szczególnie w rejonie ścian w pokładzie 409,
- pomiarów zarejestrowanych przez system gazometrii automatycznej w okresie planowego postoju wentylatora na szybie III w dniu 18.10.2009 roku.

Rozbudowa modelu numerycznego o rejon ścian w pokładzie 409 oraz rozmieszczenie czujników gazometrii automatycznej jako wirtualnych czujników pracujące w sieci wyrobisk ciągle stanowi pracochłonną część badań. W wyniku zastosowania nowych, ulepszonych procedur programu *VentZroby* zamierzony cel został osiągnięty.

Na rysunku 1 przedstawiono w postaci graficznej schemat przestrzenny rozważanej sieci wyrobisk kopalni Wujek Ruch Śląsk odpowiadający rozbudowanemu modelowi numerycznemu.

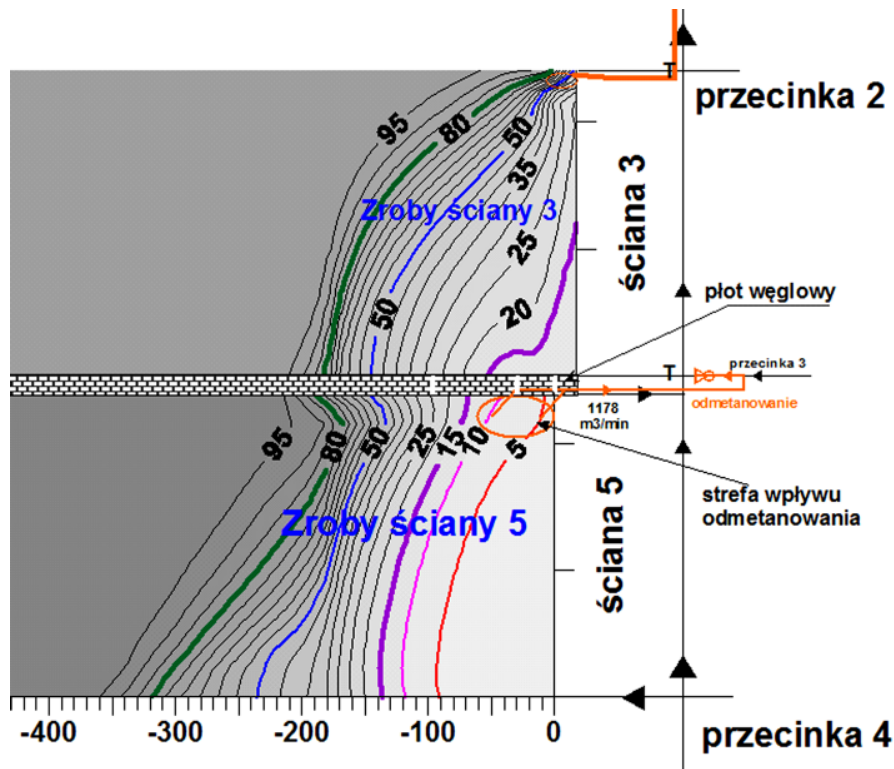
Na rysunku 7 przedstawiono w postaci graficznej schemat przestrzenny rejonu wyrobisk ścian 3, 4 i 5 w pokładzie 409.

2.2. Wyznaczenie rozplywu mieszaniny powietrza i metanu w sieci wyrobisk

Wstępnym zagadnieniem do dalszych badań jest wyznaczenie początkowego stanu rozplywu mieszaniny powietrza i metanu zarówno w wyrobiskach przyścianowych jak i w zrobach dla przyjętego modelu numerycznego. Dla badanego zagadnienia obejmującego stany przejściowe w przepływie mieszaniny powietrza i metanu po wyłączeniu wentylatora, a następnie po załączeniu, które ma miejsce w dniu 18.10.2009 roku istotne okazało się:

- wyznaczenie poziomu dopływu metanu do rejonu ścian w tym do ściany 5, która nie prowadziła eksploatacji od dnia 19.09.2010 roku.
- wyznaczenie poziomu dopływu metanu do rejonu ścian w tym do ściany 5, po wyłączeniu wentylatora na szybie III.
- przeprowadzenie regulacji rozplywu powietrza w rejonie ścian, tak aby dopasować rozplyw powietrza do warunków z przed postoju wentylatora.

Na rysunku 8 pokazano obliczoną ilość (w prostokątach umieszczonych przy bocznicach) przepływającego powietrza i metanu w zrobach ściany 3 i 5. Dla wstępnej weryfikacji wyników obliczeń symulacji wykorzystano dane rejestrowane w systemie gazometrii automatycznej zarówno przez czujniki stężenia metanu jak i anemometry stacjonarne, w czasie przed wyłączeniem wentylatora na szybie III.



Rys. 9. Izolinie stężenia metanu w zrobach ściany 3/409 i 5/409, stan początkowy

5. Postój wentylatora – stany przejściowe rozprywu powietrza i metanu

Postój wentylatora głównego przewietrzania w kopalni wywołuje znaczne zaburzenie w przepływie powietrza i gazów w tym metanu w sieci wyrobisk kopalni. W przypadku kopalni metanowej dochodzi do zwiększenia zagrożenia metanowego. W wyniku procedury zatrzymania, postoju i załączenia wentylatora głównego przewietrzania następują zmiany rozkładu ciśnienia i wydatku przepływu powietrza w rejonach wydobywczych, a w konsekwencji następują zmiany w wypływie metanu ze zrobów do wyrobisk przyścianowych kopalni. Zmiany te powodują transport mieszaniny powietrza i metanu wyrobiskami kopalni i powodują znaczny wzrost zagrożenia metanowego szczególnie po załączeniu wentylatora. W pracy (Niezgoda, 2000) autor przedstawił oryginalne wyniki eksperymentalnych badań zmian stężenia metanu i ciśnienia powietrza w rejonie ścian wywołanych wyłączeniem, postojem i załączeniem wentylatora na szybach wentylacyjnych kopalni metanowej.

5.1. Dobór parametrów modelu do warunków postoju wentylatora

Podczas eksperymentu postoju wentylatora mierzono i rejestrowano parametry fizyczne przepływającego powietrza w rejonie ścian takie jak stężenie metanu, tlenu węgla, ciśnienie na tamach 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 badania walidacyjne jakości opracowanego modelu numerycznego sieci wentylacyjnej kopalni Wujek-Ruch Śląsk jak również celem oceny przydatności zebranego materiału pomiarowego.

Dla przyjętego rejonu wyrobisk (rys. 1) wyselekcjonowano czujniki prędkości, stężenia metanu i różnicy ciśnienia. Korzystając z opcji programu *VentZroby*, umieszczono na rysunku schematu wyrobisk czujniki systemu gazometrycznego pobrane z systemu Zefir. Tym samym dokonano odwzorowania systemu gazometrycznego w wirtualnym obrazie sieci wyrobisk, a szczególnie w rejonie ścian pokładu 409.

Pomocniczym etapem badań jest wyznaczenie bilansu metanowego rejonu ścian 3, 5 i 4 dla trzech okresów przed wyłączeniem, w trakcie postoju wentylatora i po załączeniu. Podstawę bilansu stanowią rejestracje czujników metanu systemu gazometrii oraz wyznaczone poprzez obliczenia rozprywu powietrza strumienie objętości powietrza w miejscach zainstalowana czujników metanu.

Tab. 2. Wydatki metanu oszacowane w rejonie ściany 3, 5 i 4 pokł. 409

Lp.	Numer Nazwa czujnika	Lokalizacja czujnika	Stężenie metanu monitoring	Stężenie metanu symulacja	Wydatek powietrza m ³ /min	Wydatek metanu kg/sm ³ /min
1	2	3	4	5		6
1	Swup0287 M287	Chodnik badawczy 5/409 – 10 do 15m od powierzchni badawczej	0	0.106	898,1	0,0118 1,01143
3	Swup0318 M318	Ściana 5/409 – nad skrzynią napędową przenośnika ścianowego	3,0	0,49	910,9	0,0537 4,60286
4	Swup0319 M319	Chodnik badawczy 3a wtórny 409, 10-15 m na zach. od powierzchni	0,50	0,44	1182,1	0,0657 5,63143
5	Swup0291 M291	Przecinka 3/409 – 5 m od wylotu z mie- szalnika inżektorowej stacji	0,70	0,3667	689,5	0,0312 2,67429
6	Swup0292 M292	Dowierzchnia badawcza 1/409 – 10 do 15 m na półn. od przecinki 3	0,40	0,4621	2000,6	0,1150 9,85714
7	SX044 M294	Odmetanowanie ze ściany 5	42,00	37,1	7,2	0,0312 2,67429
8	SW μ P M317	Dowierzchnia badawcza 1/409 – 10 m na południe od przecinki 1	0,70	0,63	2148,1	0,1674 14,34857
9	Swup 320 M320	Dowierzchnia bad.1/409 –10 m na połu- dnie od przecinki 1	0,70	0,63	2148,1	0,1674 14,34857
10	M209	Pochylnia taśmowa w pokład 417 przed przecinką 3J	0,50	0,65	972,0	0,0782 6,70286
11	M227	Pochylnia taśmowa w pokład 417 za przecinką 3J	0,0	0,67	2277,3	0,1868 16,01143
12	Swup0295 M295	Przecinka 5 – do 5 m od upadowej połu- dniowej 1050	0,40	0,167	652,4	0,0134 1,14857
13	Swup0300 M300	Przecinka 5 – 5 m od wylotu z mieszal- nika inżektorowej stacji	0,40	1,36	664,0	0,1116 9,56571
14	Swup0275 M275	Ściana 4/409, nad skrzynią napędową przenośnika – 2 m od wyrobiska	0,30	0,193	1458	0,0350 3,00
15	Brak czujnika	Szyb III, powyżej poziomu 765	—	0,2612	9757,2	0,3004 25,74

Z powyższego oszacowania można wnioskować, że dopływ metanu w zlikwidowanej ścianie 3 i zatrzymanej ścianie 5 ze zrobów i odsłoniętej calizny wynosił przed wyłączeniem wentylatora 22,75 m³CH₄/min metanu. W przykładzie obliczeniowym przyjęto, że do zlikwidowanej ściany 3 dopływ wynosi 3 m³CH₄/min, z rejonu zatrzymanej ściany 5 i calizny 18,74 m³CH₄/min, a z rejonu chodnika 7 pokład 409 1,01 m³CH₄/min. Uwzględniając dopływ metanu z rejonu uruchomionej ściany 4 będącej w postoju w wysokości 3,0 m³CH₄/min uzyskujemy całkowity dopływ metanu w rejonie równy 25,74 m³CH₄/min.

Interesujące jest, że dopływający metan do obszaru zrobów ściany 5 wypływa w trzech kierunkach:

- do rurociągu odmetanowania w ilości 2,67 m³CH₄/min,
- do chodnika 3a wtórny w ilości 5,64 m³CH₄/min,
- do zrobów ściany 3 w ilości 10,43 m³CH₄/min.

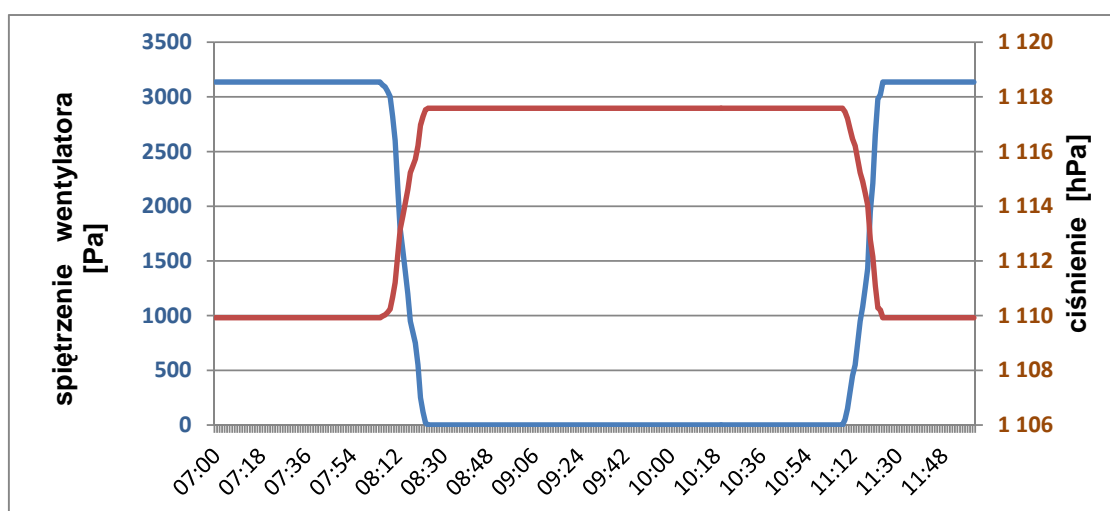
Obserwowane w tablicy 1 różnice między stężeniami zmierzone przez czujniki metanu w stosunku do obliczeń symulacji rozpyłu powietrza i metanu w rozważanym rejonie w wielu punktach są podobne (oznaczenia – pogrubione), a w innych punktach występują pewne różnice, które na tym etapie badań trudno interpretować i podać powody rozbieżności.

Wyłączenie wentylatora na szybie III powoduje wzrost ciśnienia w rejonie ścian 3, 4 i 5 co skutkuje zmniejszonym wypływem metanu do wyrobisk górniczych z obszaru zrobów (Krach A., 2004). W rozważanym zagadnieniu, korzystając z rejestracji wskazań czujników gazometrii automatycznej w okresie postoju wentylatora oraz korzystając z obliczonego rozplywu powietrza i metanu w okresie postoju wentylatora, wyznaczono następujące wartości dopływu metanu:

- metanowość całkowita wynosi $11,31 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{min}$
- z obszaru zrobów ściany 3 i 5 dopływ metanu wynosi $8,31 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{min}$.

Wyznaczone wartości dopływu metanu zostały przyjęte w obliczeniach rozplywu powietrza i metanu podczas wyłączenia, postoju i załączenia wentylatora na szybie III.

Kolejny etap badań to prowadzenie obliczeń programem *VentZroby* z uwzględnieniem wyłączenia, postoju i załączenia wentylatora na szybie III. Symulację postoju wentylatora w programie *VentZroby* realizowano zgodnie z przebiegiem zmian czasowych spiętrzenia wentylatora na szybie III pokazanego na rysunku 11.



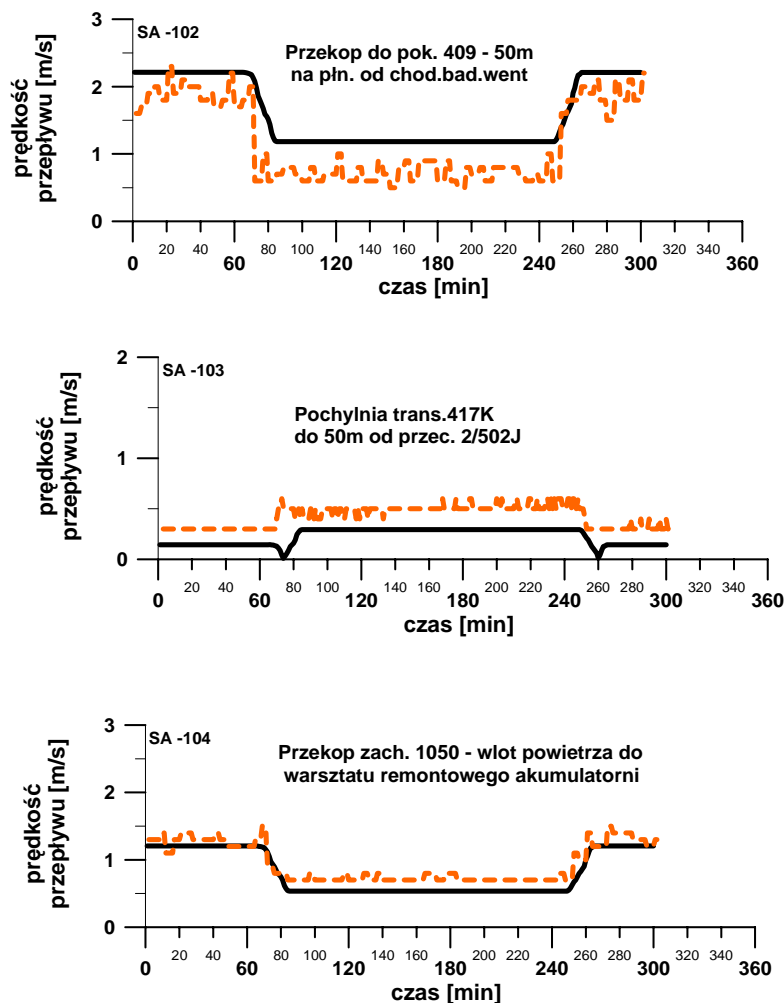
Rys. 11. Zmiany spiętrzenia wentylatora na szybie III oraz ciśnienia na wylocie ze ściany 5 w trakcie badań

5.2. Wyniki symulacji – przebiegi czasowe prędkości, stężenia metanu i ciśnienia

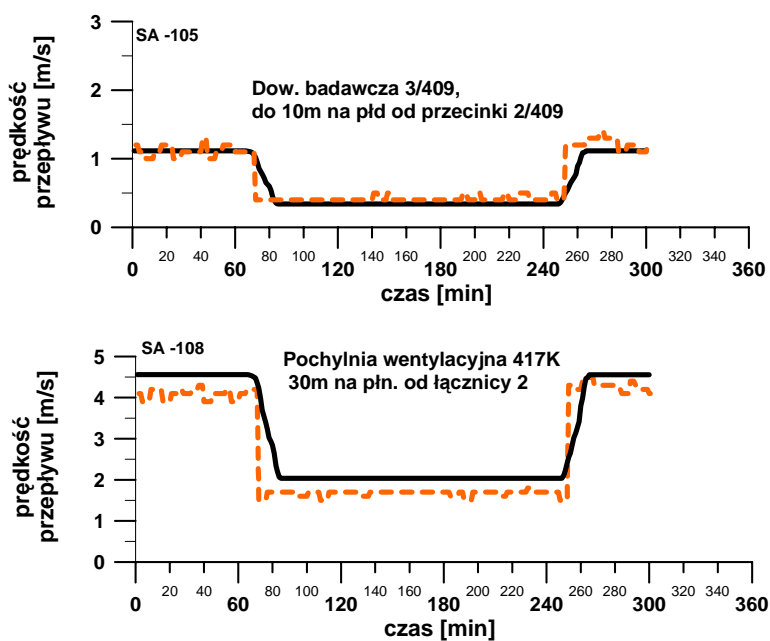
Na kolejnych rysunkach przedstawiono wybrane przebiegi obserwowanych parametrów przepływu powietrza i metanu uzyskane na drodze obliczeń (linia ciągła), które zestawiono z danymi zarejestrowanymi w systemie gazometrii (linia przerywana), przy czym w pierwszej kolejności pokazano przebiegi prędkości przepływu powietrza (rysunki 12 do 14). Następne wykresy (rysunek od 15 do 17) dotyczą obserwowanych zmian stężenia metanu, a rysunek 18 przedstawia zmiany obserwowanych różnic ciśnień.

Analizując wyniki przedstawione na wykresach przebiegu zmian prędkości przepływu (rys. 12-14) powietrza w wyrobiskach gdzie były zainstalowane stacjonarne anemometry, obserwujemy dobrą zgodność wartości mierzonych przez anemometry w stosunku do wyznaczonych drogą symulacji komputerowej. Można uznać, że dobór parametrów modelu numerycznego w zakresie wyznaczenia rozplywu powietrza w rejonie dobrze oddaje rzeczywiste parametry charakteryzujące przepływ powietrza tj. opory aerodynamiczne wyrobisk, koty niwelacyjne węzłów, rozkład gęstości przepływającego powietrza oraz geometrię wyrobisk.

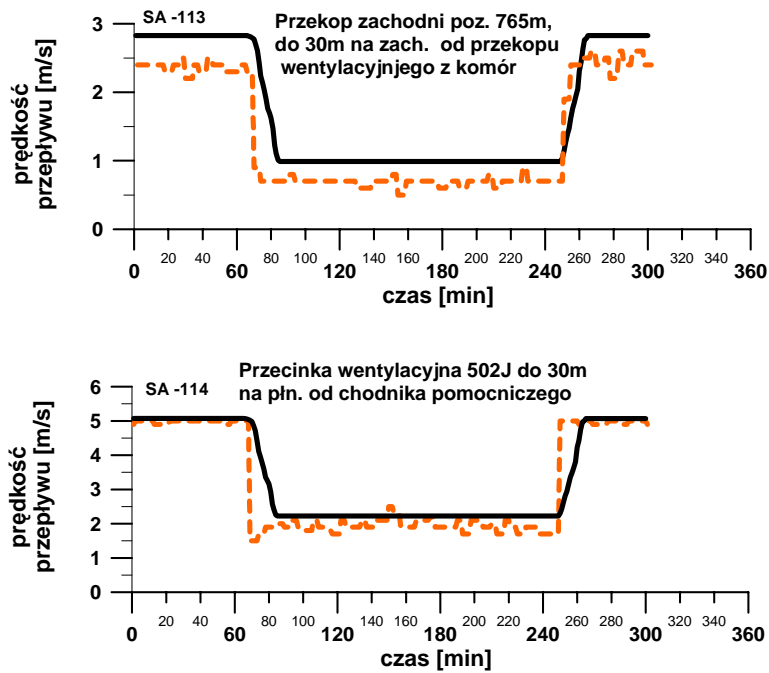
Dobór parametrów związanych z wyznaczaniem zmian stężenia metanu dla czujników nr M-318 (rys. 15), M-291 (rys. 16) i M-300 (rys. 17) obciążony jest pewnym błędem. Czujnik MM-318 rejestrował wartości stężenia metanu przekraczające dopuszczalne wartości, można przypuszczać, że prawdopodobnie był źle ustawiony i wskazywał np. wartości 10 razy wyższe. Czujniki M-291 i M-300 umieszczone są za inżektorową stacją odmetanowania i mogą być zlokalizowane w miejscu gdzie wypływający metan do wyrobiska ze stacji nie jest jeszcze wymieszany z przepływającym powietrzem, dlatego rejestrowane wartości stężenia metanu są wyższe od obliczonego za pomocą programu *VentZroby*.



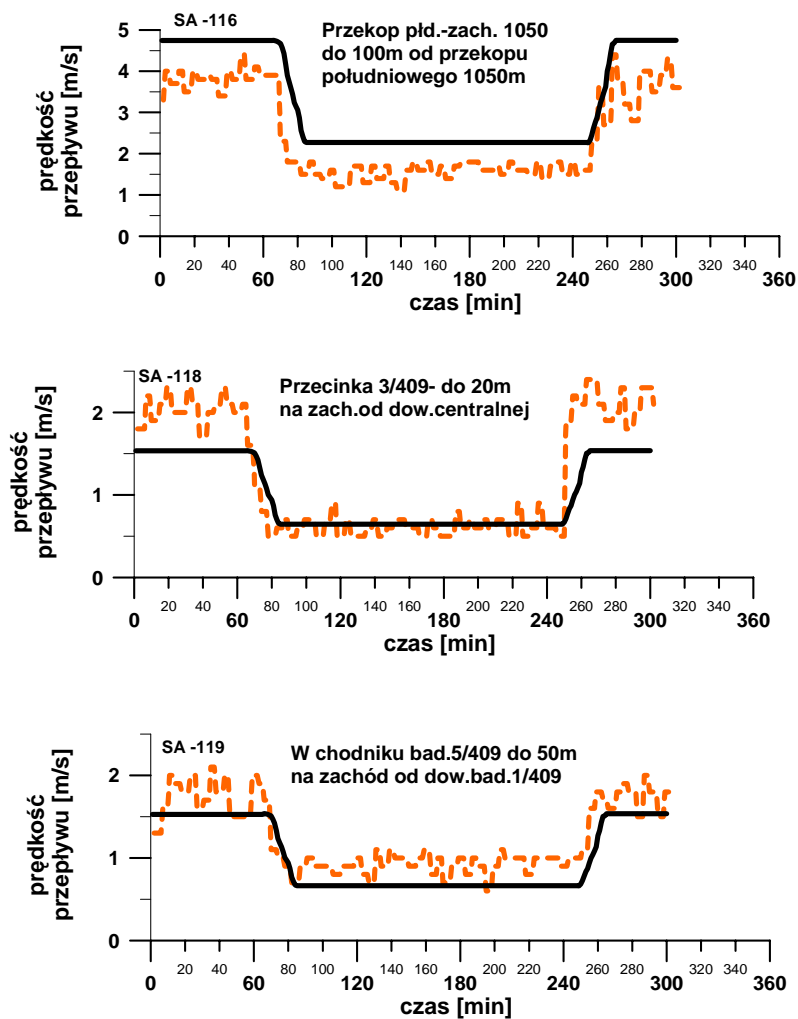
Rys. 12. Przebieg prędkości na kolejnych czujnikach anemometrycznych systemu gazometrycznego oraz odpowiadające wyniki symulacji (linia ciągła)



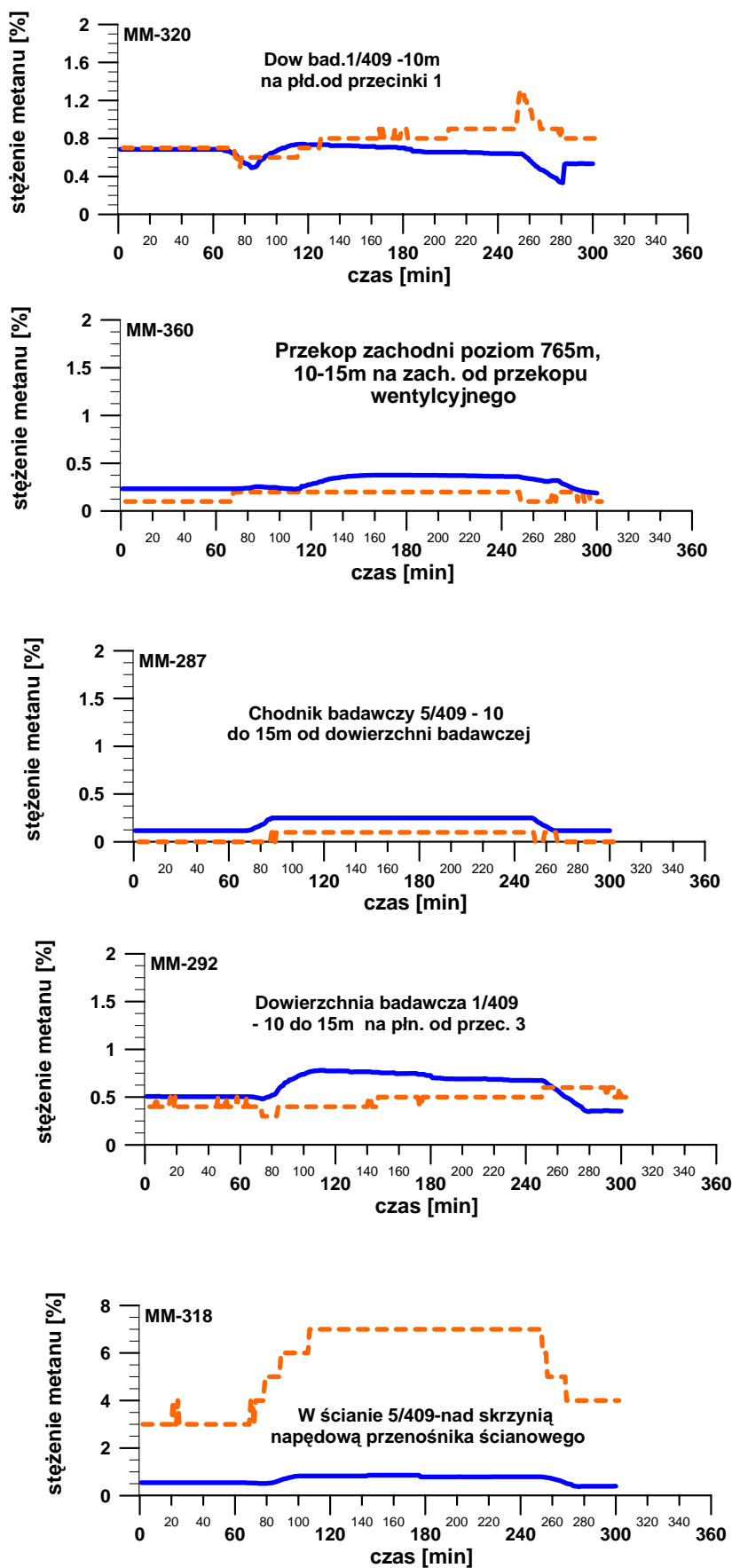
Rys. 13. Przebieg prędkości na kolejnych czujnikach anemometrycznych systemu gazometrycznego oraz odpowiadające wyniki symulacji (linia ciągła)



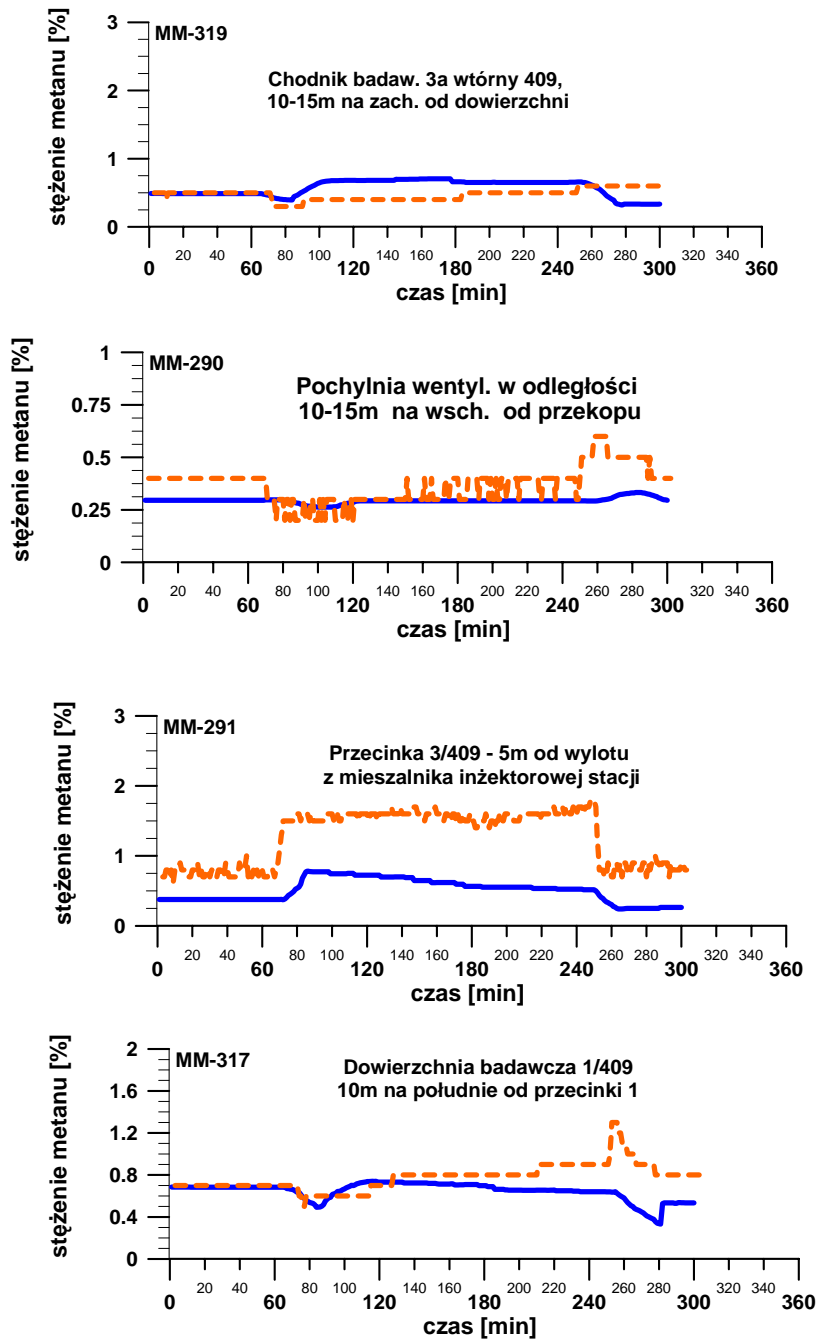
Rys. 13. c.d. Przebieg prędkości na kolejnych czujnikach anemometrycznych systemu gazometrycznego oraz odpowiadające wyniki symulacji (linia ciągła)



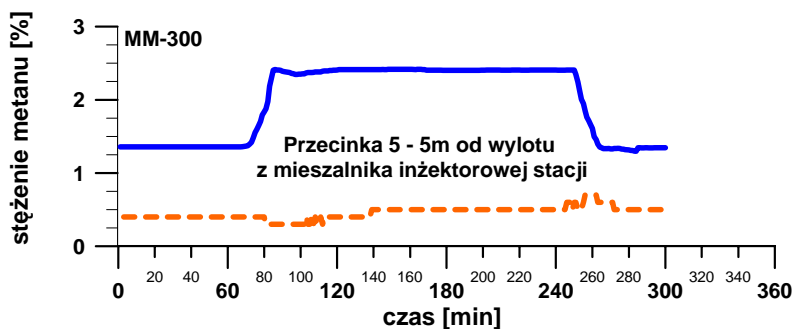
Rys. 14. Przebieg prędkości na kolejnych czujnikach anemometrycznych systemu gazometrycznego oraz odpowiadające wyniki symulacji (linia ciągła)



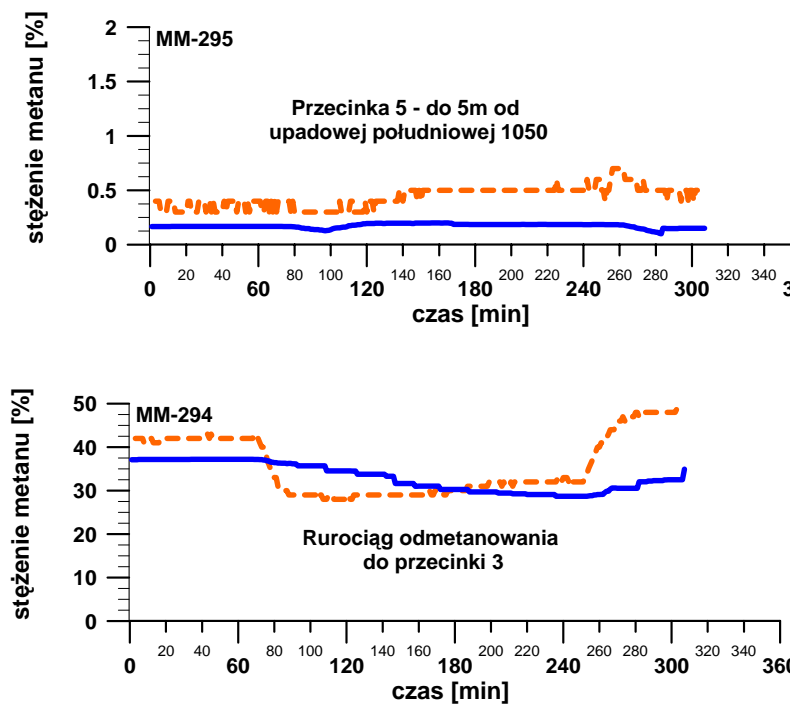
Rys. 15. Zmiany stężenia metanu na kolejnych czujnikach systemu gazometrycznego oraz odpowiadające wyniki symulacji (linia ciągła)



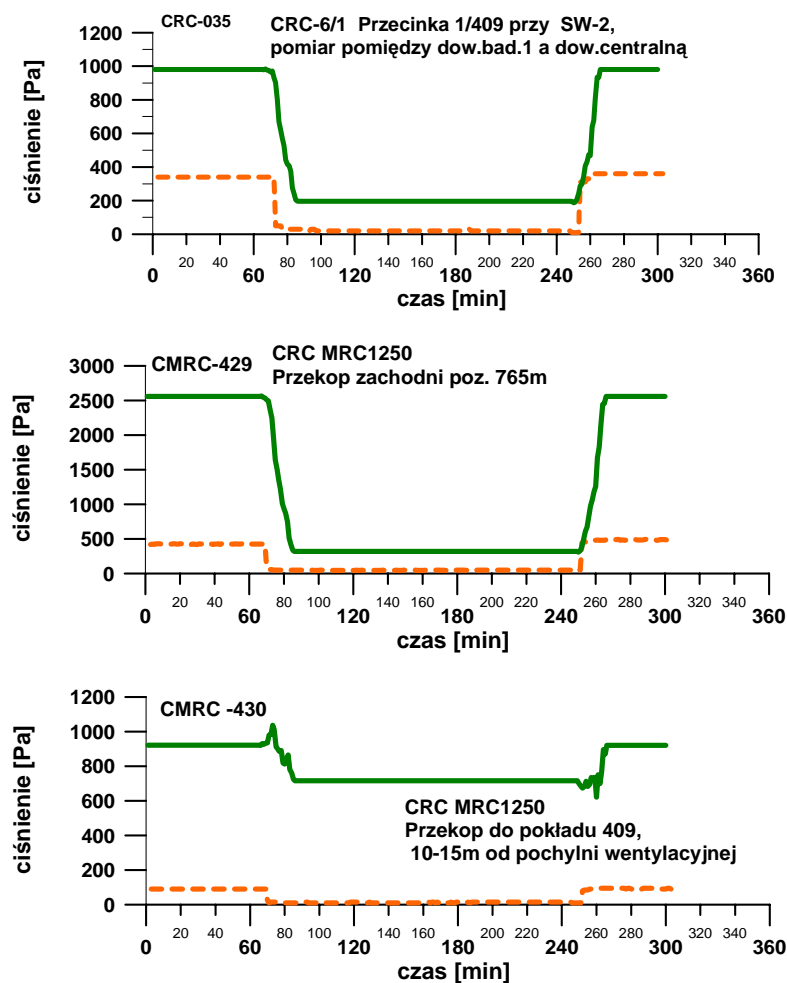
Rys. 16. Zmiany stężenia metanu na kolejnych czujnikach systemu gazometrycznego oraz odpowiadające wyniki symulacji (linia ciągła)



Rys. 17. Zmiany stężenia metanu na kolejnych czujnikach systemu gazometrycznego oraz odpowiadające wyniki symulacji (linia ciągła)



Rys. 17. c.d. Zmiany stężenia metanu na kolejnych czujnikach systemu gazometrycznego oraz odpowiadające wyniki symulacji (linia ciągła)



Rys. 18. Zmiany różnicy ciśnienia na kolejnych czujnikach systemu gazometrycznego oraz odpowiadające wyniki symulacji (linia ciągła)

Obserwowane na rysunku 18 zmiany różnicy ciśnienia na tamach w trzech wyrobiskach w stosunku do obliczonych wartości wykazują znaczne różnice, przy czym wartości mierzone są niższe od obliczonych. Powody tych różnic mogą wynikać ze źle dobranych oporów tam jakie przyjęto w modelu numerycznym. Hipotezę tą można sprawdzić poprzez kolejne obliczenia dla zmienionych oporów tam. Obliczenia takie trzeba tak prowadzić, aby pozostałe parametry decydujące o rozplywie powietrza były odpowiednie do wskazań czujników systemu gazometrycznego.

6. Podsumowanie

Celem badań jest opracowanie narzędzi programowych opartych na systemie programów komputerowych *Ventgraph* oraz *VentZroby* dla celów odtwarzania procesów zachodzących w czasie zdarzeń i katastrof.

Dla realizacji celu badań dokonano modyfikacji jak również opracowano nowe procedury programu komputerowego *VentZroby*. Zaproponowano wykorzystanie modelu numerycznego utworzonego na podstawie pomiarów wentylacyjnych przeprowadzonych w październiku 2010 roku we wszystkich wyrobiskach kopalni. Stanowiło to podstawę modelu numerycznego utworzonego w bazie danych systemu programów komputerowych Inżyniera Wentylacji *Ventgraph*. Korzystając z nowych opcji programu *VentZroby*, do utworzonego modelu numerycznego kopalni dołączono obszar zrobów eksploatowanej we wrześniu 2009 roku rejonu ściany 5, zlikwidowanej ściany 3 oraz rozpoczynającą eksploatację ścianę 4 w pokładzie 409.

Eksperyment wyłączenia i ponownego załączenia wentylatora głównego w kopalni Wujek Ruch Śląsk wykonany w warunkach kontrolowanego eksperymentu dostarczyły znaczną liczbę danych dla weryfikacji i walidacji narzędzi programowych *Ventgraf* i *VentZroby*.

Założona konfiguracja kopalnianego systemu gazometrii, a w szczególności przyjęte okresy próbkowania sygnałów, wprawdzie nie dostarczyły danych wystarczających dla oceny dynamiki sygnałów prędkości powietrza i stężenia metanu, to jednak fakt ten nie umniejszył wartości zarejestrowanych danych dla weryfikacji i walidacji narzędzi programowych, do których wykorzystywano stany ustalone parametrów powietrza przed i po wyłączeniu wentylatora oraz jego ponownym uruchomieniu.

Dla badań walidacyjnych wykorzystano dane z systemu gazometrii automatycznej. W takim przypadku stosując metodę walidacji modelu numerycznego dokonano doboru parametrów charakteryzujących przepływ powietrza i rozkład stężenia metanu w przyjętej strukturze wyrobisk kopalni.

Kolejny etap badań obejmował przyjęcie bilansu metanu, ustalenie procedury wyłączenia i postoju wentylatora (rys. 11), a następnie wielokrotne obliczenia programem *VentZroby*. W trakcie obliczeń nieznacznie zmieniano wybrane parametry modelu tak aby uzyskać jak 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. 9) na którym pokazano obszar objęty mieszaniną metanu i powietrza w granicach od 5% do 15% CH₄.

Reasumując uzyskane wyniki można stwierdzić, że zbudowany model numeryczny dla całej sieci wentylacyjnej kopalni Wujek Ruch Śląsk obejmującej dołączony rejon ściany 3, 4 i 5 pokład 409 jest zadawalający i może posłużyć do wariantowych symulacji oceny zagrożenia metanowego w okresie przed katastrofą.

Parametry powietrza zarejestrowane w czasie wyłączenia i ponownego uruchomienia wentylatora głównego na szybie IV kopalni Wujek Ruch Śląsk pokazały dużą zmienność wartości chwilowych, stąd było konieczne wygładzanie sygnałów pomiarowych przed ich wykorzystaniem do weryfikacji, oraz walidacji programów *Ventgraph* i *VentZroby*.

Wyniki badań wykazały, że celowe było wykonanie dokładnego bilansu metanowego dla całego rejonu ściany 3, 4 i 5 co pozwoliło na dokładniejsze ustalenie parametrów modelu numerycznego sieci wentylacyjnej i zrobów rejonu ściany 3 i 5.

Badania potwierdziły, że jest rzeczą oczywistą, że takie analizy wykonywane w oparciu o modele i programy komputerową będą efektywne i skuteczne o ile zostaną zweryfikowane i zwalidowane w oparciu o rzeczywiste dane i rejestracje parametrów powietrza z kopalń nawet uzyskane po zdarzeniu. Taką właśnie metodę weryfikacji i walidacji narzędzi programowych zastosowano w badaniach przedstawionych w artykule.

Literatura

- 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, (2010).
- 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, (2009).
- Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., Wasilewski St., 2010. *Digital simulation of the gas dynamic phenomena caused by bounce, experiment and validation.* Archives of Mining Sciences, Vol. 55, No 3, p. 403-425, (2010).
- Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., Wasilewski St., 2011. *Prognoza stanu atmosfery w rejonie ściany i jej zrobach na podstawie danych z systemu monitoringu kopalni.* Przegląd Górniczy, nr 7-8, (2011).
- 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, No 1, p. 43-53, (2004).
- Krawczyk J., 1994. *Examples of the application of models with lumped constants for simulation of unsteady air flow in the system: air way-fan.* Archives of Mining Sciences, Vol. 39, No 3, p. 431-439.
- Krawczyk J., Wasilewski S., 2004: *A study on event of unstable operation of an axial fan in a ventilation network.* Proceedings of the Tenth US Ventilation Symposium. Alaska 2004.
- Krawczyk J., Wasilewski S., 2009. *Migration of Methane into Longwall and tailgate crossing.* Mine Ventilation, Ninth International Mine Ventilation Congress, India, p. 483-494, (2009).
- Litwiniszyn J., 1997. *O stabilności pracy wentylatorów.* Materiały Konferencji Szkoły Eksploatacji Podziemnej '97, Szczyrk.
- 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, (2010).
- 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, (2000).
- Szlązak J., 2010. *Metody obliczania rozplywu powietrza i rozkładu stężenia metanu w zrobach ścian zawałowych, przykłady wykorzystania,* Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice (2010).
- Trutwin W., 1968. *Modelowanie stanów niestabilnych w sieciach wentylacyjnych za pomocą urządzeń analogowych.* Zeszyty Naukowe AGH. Górnictwo Zeszyt 19, Kraków.
- Trutwin W., 1972. *Symulacja cyfrowa stanów niestabilnych procesu przewietrzania i regulacji kopalnianych sieci wentylacyjnych.* Zeszyty Problemowe Górnictwa PAN, Tom 10, Zeszyt 2.
- Trutwin W., Wasilewski S., Sielski J., 1997. *Obserwacje niestabilnej pracy układu wentylator-sieć w KWK Siemianowice.* Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej AEROLOGIA'97 Kraków. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa Nr 11/327, s. 18-24.
- Wasilewski S. 1984. *Analiza niektórych parametrów sieci wentylacyjnej kopalni.* Praca doktorska. Instytut Mechaniki Górniczej Polskiej Akademii Nauk, Kraków.
- Wasilewski S., 1996. *Nowe możliwości pomiarów i rejestracji parametrów w sieci wentylacyjnej kopalni.* Materiały konferencji: Wybieranie złóż na dużych głębokościach oraz w trudnych warunkach geotermicznych. Świeradów Zdrój.
- Wasilewski S., 2004. *Ciśnienie barometryczne i jego zmiany w kopalniach głębinowych.* Materiały Konferencyjne 3 Szkoły Aerologii Górniczej. Październik, Zakopane.
- Wasilewski S., 2005. *Stany niestabilne parametrów powietrza wywołane katastrofami oraz zaburzeniami w sieci wentylacyjnej kopalni.* Rozprawy i Monografie EMAG. Katowice.

Developing software tools for the purpose of recreating events and disasters, and their verification on the basis of the “post” data

Abstract

For the past two years, at the Strata Mechanics Research Institute, attempts have been made – as part of the Institute's objects – to develop software tools based on the system of the Ventgraph and VentZroby computer programs. The objective is to recreate processes taking place during mining events and disasters. Obviously, such analyses – carried out with computer models and programs – shall not be effective unless verified and validated on

the basis of real data and the recorded parameters of the air in mines (even if the latter are obtained after the event). Such is the method of verification and validation that the research described in the article makes use of.

As a continuation of previous work, it has been suggested that a numerical model should be developed, involving ventilation measurements carried out in October 2010 in all the mine excavations entered into the database of the Ventilation Engineering Ventgraph program system. New options included in the VentZroby program made it possible to enrich the developed numerical model of the mine with the area of post-mining excavations of Wall 5, exploited in September 2009, as well as of the already liquidated Wall 3, and Wall 4, whose exploitation has just begun. All the walls are part of Deposit no. 409.

The article presents the effects of recreating the state of ventilation by means of the numerical simulation method – before turning off the ventilator in the 3rd pit-shaft of the Śląsk coal mine, during its stoppage, and after turning it on. The inflow of methane was taken into account. The tests made use of the data recorded by the mine system of automatic gasometry, i.e. the speed of the air, the concentration of methane, and the difference in pressures on dams, as well as the concentration of methane in the pipeline outgassing the post-mining excavations (polskie sformułowanie rozumiem jako “rurociąg odmetanowujący zroby”). Not only do such tests make it possible to evaluate the flow phenomena, but they also demonstrate changes in the concentration of methane, caused by turning the ventilator off. In addition, the tests enable development of a professional tool for recreating events and disasters, and for their verification on the basis of the data obtained after a given event happened. The entry data needed to develop a numerical model of the excavation network was acquired via the following sources: ventilation measurements, the gasometric system of the mine, and the information provided by the mine ventilation personnel. Developing a validated numerical model makes it possible to perform a multivariant event simulation, which opens the way for drawing practical conclusions and understanding the reasons behind disasters.

Keywords: simulation of the ventilation process, software ventilation, methane hazard, safety