

Rozwój systemów symulacji procesu przewietrzania w rejonie ściany z uwzględnieniem czujników systemu gazometrii

WACŁAW DZIURZYŃSKI, TERESA PAŁKA, ANDRZEJ KRACH, STANISŁAW WASILEWSKI

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

Streszczenie

W Instytucie Mechaniki Górotworu PAN od szeregu lat rozwijany jest program komputerowy realizujący symulację procesu przewietrzania w rejonie ściany. Program uwzględnia emisję metanu związaną z urabianiem kombajnem i urobkiem na przenośniku, a także wykorzystuje dane zarejestrowane przez czujniki systemu gazometrii. Program wymaga dostarczenia wielu parametrów wynikających z modeli matematycznych zastosowanych do opisu zjawisk związanych z przewietrzaniem, ruchem kombajnu i przenośnika oraz dopływem metanu. Stąd wynika konieczność sformułowania metodyki uzyskania i przygotowania wiarygodnych danych do programu, koniecznych dla modelowania przepływów mieszaniny gazów w rejonie ściany i zrobach. Połączenie programów *Ventgraph* i *VentZroby* otwiera nowe możliwości symulacji przewietrzania wyrobisk ścianowych z uwzględnieniem przepływu powietrza przez zrobki eksploatowanych ścian. Zostaną przedstawione kolejne etapy przygotowania szerokiej bazy danych wejściowych poczynając od parametrów charakteryzujących przepływ powietrza, specyfikacji źródeł dopływu metanu, pracy kombajnu oraz danych uzyskiwanych z systemu gazometrycznego kopalni.

Systemy gazometrii automatycznej stosowane w kopalniach węgla kamiennego dostarczają wiele informacji dotyczących bieżącego stanu parametrów powietrza w wyrobiskach kopalni. Dane rejestrowane na bieżąco oraz archiwizowane w bazach danych kopalnianych systemów nadzoru niezależnie od funkcji kontrolnych stanu wentylacji i zmian parametrów powietrza stanowią niezwykle cenny materiał poznawczy oraz pozwalają na szersze ich wykorzystanie. Ogromna liczba danych gromadzonych w kopalnianych systemach gazometrii automatycznej i nadzoru dyspozytorskiego oraz potrzeba i możliwości ich nowego wykorzystania wymagają wyboru narzędzi oraz metod, które potrafią te dane przetwarzać w celu pozyskania użytecznych informacji. Zaproponowano zastosowanie mechanizmów tzw. odkrywania wiedzy (ang. *knowledge discovery*) do przygotowania danych rejestrowanych w systemach gazometrii do celów analiz stanu przewietrzania oraz tworzenia modeli numerycznych jak i ich weryfikacji.

Wykorzystanie danych rejestrowanych w systemie musi uwzględniać własności metrologiczne oraz specyficzne wymagania stosowania czujników stacjonarnych w systemach gazometrii automatycznej. W artykule wybrano wielkości fizyczne, które mogą być określane z danych rejestrowanych w systemie gazometrii oraz sformułowano podstawowe warunki ich wykorzystania do celów symulacji i weryfikacji modeli numerycznych procesu przewietrzania.

Słowa kluczowe: symulacja komputerowa, baza danych, systemy gazometrii automatycznej, monitoring parametrów powietrza, eksploracja danych do celów modelowania i symulacji

1. Wprowadzenie

Zastosowanie w kopalniach podziemnych pakietu programów komputerowych *VentGraph*, w tym modułu *VentZroby*, który umożliwia prognozowanie złożonego procesu przewietrzania wyrobisk kopalni w warunkach zagrożenia pożarowo-metanowego, stało się praktyką powszechną, a zainteresowanie praktyków i dozoru górniczego to potwierdza. Pozytywnym rezultatem dotychczasowych badań jest znaczne rozbudowanie modelu matematycznego zastosowanego w programie *VentGraph* i *VentZroby* przydatnych do prognozowania stanu atmosfery wyrobisk i zrobów kopalni z uwzględnieniem zagrożenia metanowego, pożarowego, wyrzutowego i temperaturowego. Jednocześnie rozwija się metody modelowania 3D wybranych zagadnień wentylacyjnych jak np. rejon górnego naroża ściany. Konieczne jest prowadzenie walidacji programów symulacji co wymaga wykonania złożonych eksperymentów pomiarowych zarówno w laboratorium jak i w warunkach „in situ” oraz wykorzystania bazy danych z systemu gazometrycznego kopalni.

Należy zauważyć, że parametry przepływu powietrza w sieci wyrobisk można wyznaczyć nie tylko na podstawie pomiarów *in situ* ale także przewidywać ich wartości, wykorzystując badania modelowe i symulacje komputerowe przeprowadzane z wykorzystaniem modeli matematycznych o różnym stopniu złożoności. Dotychczasowe efekty modelowania za pomocą programu *VentZroby* (2D) są na tyle obiecujące (Dziurzyński i Wasilewski, 2012), że uzasadniają kontynuację badań prowadzących do rozwoju metod ograniczania zagrożenia metanowego i pożarowego. System programów *VentGraph* i *VentZroby* opracowany specjalnie na potrzeby służb wentylacyjnych kopalni umożliwia stworzenie jej wirtualnego modelu numerycznego, będącego odwzorowaniem wszystkich wyrobisk kopalni, pracujących maszyn i urządzeń z uwzględnieniem systemu monitoringu kopalnianej sieci wentylacyjnej. Szerokie i stale rozwijane oprogramowanie umożliwia cyfrowe odwzorowanie nie tylko wyrobisk kopalni ale również obszaru zrobów, dzięki czemu powstaje jej wirtualny model numeryczny (Dziurzyński i in., 2010). Na wirtualnym modelu można prowadzić symulacje procesu przewietrzania zarówno w warunkach normalnych, jak i w stanie awaryjnym. Program ten może współpracować z czujnikami systemu gazometrycznego kopalni.

Wykonane w latach 2000–2014 badania w ramach prac statutowych nakierowane były na stały rozwój możliwości obliczeniowych i symulacji nieustalonego procesu wentylacji za pomocą programu komputerowego *VentGraph* i *VentZroby* (dawna nazwa *VentMet*). Dotychczasowe prace skupiały się w zakresie:

- uzupełnienie i rozbudowa modeli matematycznych opisujących złożony proces przewietrzania wyrobisk i zrobów eksploatowanych ścian (Dziurzyński i Pałka, 2000; Blecharz i in., 2003; Dziurzyński i in., 2004, 2008).
- prowadzenie prac walidacyjnych w oparciu o jakościowe kryteria obserwowanych przebiegów czasowych wyników symulacji z wykorzystaniem danych zbieranych przez systemu gazometryczny kopalni. (Wasilewski i in., 2007; Dziurzyński i in., 2007, 2008; Dziurzyński i Kruczkowski, 2007). Opracowane procedury walidacyjne wykorzystują miarę odległości wyników obliczeń z prognozy i danych z monitoringu w postaci sumy kwadratów różnic wartości zmierzonych i prognozowanych z wagami (Dziurzyński i in., 2009). Miara taka jest funkcją celu, minimalizowaną wybraną metodą optymalizacji numerycznej. Rozwijając tę metodę zastosowano optymalizację wybranego kryterium w wielowymiarowych obiektach, stosując metody iteracyjne (Dziurzyński i in., 2012). W wyniku tych prac stwierdzono, że udaje się odtworzyć czasowe przebiegi prędkości i poziom stężeń metanu dla rejonu ściany w czasie urabiania kombajnem oraz w czasie postoju kombajnu, co świadczy, że wiele przyjętych modeli i algorytmów programu komputerowego jest prawidłowych.
- Kolejnym etapem badań było praktyczne wykorzystanie możliwości programu komputerowego *VentGraph*, który został wstępnie zintegrowany z programem *VentZroby* (Dziurzyński i in., 2010). Dokonano konsolidacji wymienionego oprogramowania w zakresie przyjęcia jednolitego modelu matematycznego uwzględniającego szeroki opis rozpatrywanych zjawisk przepływowych zarówno w stanach normalnych jak i awaryjnych. W tej pracy pokazano nowe podejście do zagadnienia automatycznego tworzenia sieci bocznic opisujących zroby, tak aby możliwe było wykorzystanie istniejącej struktury i rysunku sieci wentylacyjnej założonej programem *VentGraph*. Nowe podejście umożliwiło obserwację zjawisk zachodzących zarówno w rejonach poszczególnych ścian eksploatacyjnych kopalni jak i w całej sieci wyrobisk. Nowy program dostał roboczą nazwę *VentZrobyN*. Na podstawie tego prototypowego programu utworzono model numeryczny na podstawie całościowych pomiarów wentylacyjnych przeprowadzonych w kopalni po zdarzeniu wybuchu metanu we wrześniu 2009 roku w ścianie 5 w pokładzie 409 w KWK Śląsk (Dziurzyński i in., 2011). Uzyskane pozytywne rezultaty pozwoliły na dalsze prace integracyjne posiadanego oprogramowania. W związku z tym opracowano dodatkowe moduły programu komputerowego, które umożliwią użytkownikowi sprawną jego obsługę w zakresie:
 - przygotowania danych do opracowania modelu numerycznego kopalni,
 - przygotowania danych dla zadania symulacji w zależności od rozpatrywanego zagrożenia i przebiegu scenariusza symulacji,
 - sprawną obróbkę wyników i ich graficzną wizualizację.

W pierwszej kolejności za istotne uznano opracowanie nowej metodyki prowadzącej do przygotowania numerycznego modelu sieci wyrobisk kopalni na podstawie ręcznych pomiarów wentylacyjnych, a dla obszaru zrobów opracowano moduł programu ułatwiający obróbkę danych dla parametrycznego opisu obszaru zrobów eksploatowanych ścian.

Wyniki badań pokazały szereg trudności w wyznaczaniu parametrów modelu numerycznego z wykorzystaniem danych uzyskanych za pomocą pomiarów ręcznych (Dziurzyński i in., 2015) oraz z wyko-

rzystaniem rejestracji danych czujników kopalnianego systemu gazometrii automatycznej. Stwierdzono, że dla wiarygodności danych istotnym elementem jest ich potwierdzenie drogą pomiarów porównawczych, w miejscach zainstalowania czujników systemu gazometrii w wyrobiskach sieci wentylacyjnej kopalni. Ponadto zintegrowany program *VentGraph* z modulem *VentZroby* wymaga dostarczenia wielu parametrów wynikających z modeli matematycznych zastosowanych do opisu zjawisk związanych z przewietrzaniem, ruchem kombajnu i przenośnika oraz dopływem metanu, podawaniem gazów inertnych czy podawania do zrobów zawiesiny (Dziurzyński i in., 2014). Stąd wynika konieczność przyjęcia metodyki uzyskania i przygotowania wiarygodnych danych wejściowych do programu, koniecznych dla modelowania przepływów mieszaniny gazów w rejonie ściany i zrobach. Zwiększenie wiarygodności metod prognozowania procesu wentylacji w obecności zaburzeń i istniejących zagrożeń gazowo-pożarowych wymaga wykorzystania wyników badań modelowych, eksperymentalnych *in situ*, badań laboratoryjnych oraz zastosowania rozwiniętych technik programowania i obróbki danych pomiarowych uzyskanych z czujników gazometrycznych. Dla rozwoju oprogramowania wentylacyjnego konieczna jest również częsta wymiana doświadczeń z ekspertami i odpowiednimi służbami polskich kopalń, która prowadzi do opracowania profesjonalnego *Expert Sytemu* (Wala, 1992; Dziurzyński i in., 1999).

2. Metodyka przygotowania i wyznaczenia parametrów dla zmodyfikowanego programu komputerowego symulacji procesu przewietrzania

Dołączenie do programu *VentGraph* modułu *VentZroby* otworzyło nowe możliwości symulacji przewietrzania wyrobisk ścianowych z uwzględnieniem przepływu powietrza przez zroby eksploatowanych ścian. Z uwagi na znaczne zmiany w oprogramowaniu zwanym dalej *VentGraph* koniecznym jest przedstawienie etapów przygotowania szerokiej bazy danych wejściowych począwszy od parametrów charakteryzujących przepływ powietrza, specyfikacji źródeł dopływu metanu, gazów inertnych, zawiesiny popiołowo-wodnej, pracy kombajnu oraz danych uzyskiwanych z systemu gazometrycznego kopalni.

Przygotowanie danych potrzebnych do opracowania modelu numerycznego dla sieci wyrobisk kopalni i wybranej ściany lub kilku ścian ze zrobami rozpoczyna się od analizy informacji w zakresie aktualnego stanu wentylacji oraz poziomu zagrożeń naturalnych w tym metanowego i pożarowego. Dla przygotowania danych początkowych do badań modelowych należy uzyskać jak najszerszą informację od służb wentylacji kopalni, w zakresie:

- wyników pomiarów wentylacyjnych wykonanych przez kopalnię, w tym schemat przestrzenny i potencjalny sieci wyrobisk,
- komputerowego opisu parametrycznego sieci wentylacyjnej dla aktualnego stanu jej struktury i systemu regulacji przewietrzania z uwzględnieniem rozpatrywanego rejonu,
- danych projektowych o rejonie eksploatacji, profile chodników przyścianowych, mapy pokładowe, profile geologiczne, wyniki badań penetrometrycznych,
- wyników pomiarów składu gazów zrobowych pobieranych z tam dla oceny zagrożenia pożarowo-metanowego wykonywanych przez specjalistów w okresie obserwacji zrobów.
- rozmieszczenia czujników gazometrycznych i system rejestracji danych.

Przygotowanie danych potrzebnych do opracowania modelu numerycznego sieci wyrobisk podzielimy na etapy wynikające z struktury programu:

Etap-1 Dane dla modułu EDTXT – parametry charakteryzujące przepływ powietrza w wyrobisku i w zrobach, charakterystyki wentylatorów,

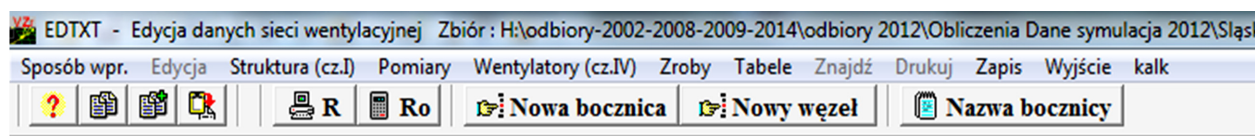
Etap-2 Dane dla modułu EDRYS – rysunek sieci wentylacyjnej i zrobów.

Etap-3 Dane dla modułu SYMULACJA:

- źródła zakłóceń, pożar, wyrzut, dopływ gazów,
- specyfikacja źródeł dopływu gazów (metan, gazy inertne, zawiesina),
- wyznaczenie parametrów modelu pracy kombajnu, przenośnika,
- dane dla prowadzenia wariantowych symulacji,
- dane z czujników systemu gazometrycznego, sposób rejestracji danych, parametry pracy systemu gazometrycznego.

2.1. Etap-1: dane dla modułu EDTXT, parametry przepływu powietrza w wyrobiskach i obszaru zrobów, wentylatory

Przygotowanie modelu numerycznego sieci wentylacyjnej danej kopalni wymaga dostarczenia zestawu danych dotyczących struktury sieci i własności fizycznych jej elementów, tj. bocznicy, wentylatorów, tam. W przypadku symulacji pożaru dodatkowo wymagane jest podanie parametrów opisujących ognisko pożaru oraz własności skał górotworu. W praktyce górniczej wykonuje się ręczne pomiary wentylacyjne w wyrobiskach górniczych, których wyniki stanowią podstawę do wyznaczenia szeregu parametrów fizycznych takich jak: opór aerodynamiczny wyrobiska, gęstość przepływającego powietrza i naturalna depresja. Konieczna jest też znajomość charakterystyk wentylatorów głównego przewietrzania. W wyrobiskach kopalni wykonuje się pomiary: prędkości przepływu powietrza, pola przekroju poprzecznego wyrobiska, ciśnienia i temperatury w węzłach wentylacyjnych. Ponadto z map pokładowych odczytuje się koty niwelacyjne miejsc pomiaru ciśnienia oraz długości poszczególnych wyrobisk.



Rys. 1. Widok dostępnych opcji modułu EDTXT

Moduł EDTXT programu *VentGraph* wymaga wprowadzenia danych, uzyskanych z pomiarów ręcznych w wybranych przekrojach wyrobisk sieci wentylacyjnej kopalni, które wykonuje się w obszarze węzła przy zachowaniu następujących zasad:

- ciśnienie barometryczne mierzone jest w węźle na skrzyżowaniu wyrobisk, pomiar ciśnienia dokonuje się precyzyjnymi miernikami ciśnienia o możliwie dużej dokładności typu mBar.
- prędkość przepływu powietrza mierzona jest w dogodnym do pomiaru przekroju wyrobiska związanego z danym węzłem. Istotne jest, aby podczas pomiarów prędkości ustalić kierunek płynącego powietrza w danym wyrobisku, gdyż wiąże się to ściśle z zapisem struktury sieci wyrobisk. Zakłada się, że przyjęty kierunek przepływu powietrza w wyrobisku wyznacza początek (1) i koniec (2) *i*-tego wyrobiska (bocznicy). Pomiar prędkości przepływu v wykonuje się przy pomocy różnego typu anemometrów skrzydełkowych. Zaleca się stosowanie metody ciągłego, pionowego lub poziomego trawersowania i na tej podstawie wyznacza się średnią prędkość przepływu. Strumień objętościowego przepływu Q jest obliczany na podstawie zmierzonej średniej prędkości i wyznaczonego przekroju wyrobiska.
- temperatury mierzone termometrem suchym i wilgotnym w miejscach pomiaru prędkości przepływu powietrza wykonuje się psychroaspiratorem Assmana. Gęstość powietrza obliczana jest na podstawie pomiarów ciśnienia atmosferycznego i temperatury mierzonej suchym i wilgotnym termometrem.
- pole przekroju poprzecznego wyznaczone jest w miejscu pomiaru prędkości przepływu powietrza (doloty, odloty). Pole przekroju wyrobiska A , na ogół w obudowie łukowej, oblicza się z pomiaru wysokości i szerokości wyrobiska, rzadko stosuje się bardziej złożone metody np. fotogrametryczne.
- z map pokładowych wyznacza się kotę niwelacyjną miejsca, w którym dokonano pomiaru ciśnienia,
- w ciągu całego czasu pomiarów dołowych rejestrowane są zmiany ciśnienia barometrycznego oraz temperatury mierzone termometrem suchym i wilgotnym w wybranym węźle odniesienia np. na zrębie szybu wdechowego.

Dla obszaru zrobów stosuje się inną procedurę przygotowania danych dla wyznaczenia parametrów charakteryzujących przepływ powietrza i gazów zrobowych (metan, tlenek węgla, gazy inertne). System przewietrzania ściany oraz przylegające zroby ściany eksploatowanej i zroby ścian zlikwidowanych wyznaczają obszar obliczeniowy, dla którego wyznacza się potrzebne dane dla przygotowania modelu numerycznego. Z powodu braku możliwości wykonania bezpośrednio pomiarów w zrobach korzysta się z wyników badań w zakresie teoretycznego modelu rozkładu przepuszczalności i kształtowania się wysokości zrobów (Dziurzyński, 1998) oraz informacje jakie niesie mapa pokładowa, profil geologiczny rejonu, projekt eksploatacji ścian (geometria, koty niwelacyjne, grubość pokładu eksploatowanego, rodzaj skał stropowych). Należy podać wymiary rzeczywiste zrobów – długość ściany i wybieg, zaznaczyć czy ściana jest w eksploatacji, podać orientację osi X i Y zrobów, oraz koty na narożach zrobów. Ściana jest zawsze ustawiona w osi Y .

Można dokonać podziału zrobów na części o różnej długości (w osi X) w zależności od odległości od ściany. To umożliwia podział zrobów 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 zrobów należy podać wymiary części, podział w osi X w metrach, oraz koty końca tej części idąc po osi X od punktu (0,0) układu współrzędnych (1 kota – punkt na osi X). W programie przyjęto równy podział zrobów wzdłuż osi Y bez możliwości podziału na części różnej długości w tej osi. Po wprowadzeniu podziałów program oblicza ilość punktów podziału zarówno w osi X jak i Y.

Przykładowo dla każdej ściany aby wyznaczyć geometryczny obszar zrobów, należy podać wymiary obszaru zrobów w kierunku osi X [m], wybieg ściany, np. 720 [m] oraz w kierunku osi Y [m] długość ściany, np. 240 [m], należy również wprowadzić podział obszaru zrobów na podobszar w kierunku osi Y, np. $dy = 30$ [m] oraz podział obszaru zrobów na podobszar w kierunku osi X np. $dx = 30$ [m]. Dane uzupełnia się poprzez wprowadzenie kot niwelacyjnych dla czterech węzłów zrobów: (0,0) – początek układu współrzędnych, np. węzeł 2*, $z = -270$ [m], (0,Ypocz) – węzeł końca ściany, węzeł 202*, $z = -206$ [m], (Xmax,0) – węzeł końca zrobów ściany dla maksymalnego wybiegu ściany, węzeł 26, $z = -228$ i (Xmax,Ymax) – węzeł końca zrobów ściany, dla maksymalnego wybiegu i długości ściany, węzeł 226, $z = -282$ [m].

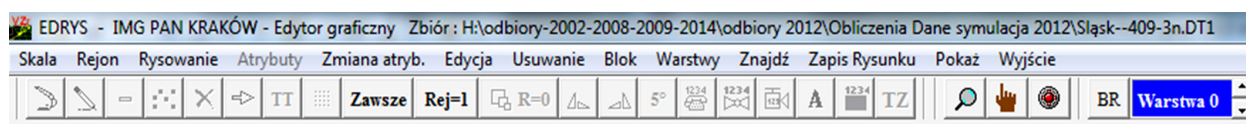
Parametry charakteryzujące obszar zrobów wyznacza się na podstawie opisu warunków górniczo-geologicznych oraz zgodnie z wymogami zastosowanego modelu matematycznego (Dziurzyński, 1998; Nawrat, 1999). Dla wyznaczenia rozkładu przepuszczalności zrobów ściany należy rozpoznać rodzaj stropu oraz wyznaczyć opór rozwarstwienia, ponadto wyznaczyć wysokość eksploatowanej ściany, długość i wybieg ściany oraz odległość od frontu ściany do maksymalnej wysokości zrobów $h_{\max}$ i odległość do strefy zawału uszczelnionego. Należy wyznaczyć dopływ metanu do rejonu z pokładu eksploatowanego, nad lub poniżej leżącego oraz dopływ metanu z pokładu urabianego kombajnem. Celowe jest podczas przygotowania danych zapoznanie się z mapami pokładowymi, profilami geologicznymi, wynikami pomiarów składu gazów zrobowych pobieranych w rejonie dla oceny zagrożenia pożarowo-metanowego oraz z danymi rejestrowanymi przez system gazometryczny kopalni. Wykonanie bilansu metanowego dla rejonu ściany pozwoli na specyfikację źródeł dopływu metanu do rozważanych elementów rejonu eksploatacji pokładu węgla (Szlązak, 1980, 2000). Program komputerowy wymaga również wprowadzenia parametrów pośrednich, na podstawie których zostaje wyznaczony rozkład przepuszczalności, porowatości i wysokości zrobów, czyli tzw. strefy zawału przewietrzanego. W tym celu do programu wprowadza się: odległość od linii likwidacji ściany do maksymalnej wysokości zrobów $h_{\max}$ np. $l_{h\max} = 30$ [m], odległość do strefy zawału uszczelnionego: $l_{zu} = 150$ [m], metanowość zrobów: $q_{CH_4} = 5-15$ [m^3/min], grubość wybieranego pokładu: $gr = 2,5 \times 4 = 10$ [m], przepuszczalność zrobów: początkową, pośrednią, minimalną, (dla strefy zawału uszczelnionego) oraz porowatość zrobów: początkową, pośrednią, minimalną, (dla strefy zawału uszczelnionego). Na podstawie tych danych algorytm programu oblicza potrzebne dane dla modelu numerycznego zrobów (Nawrat, 1999) zgodnie z przyjętym na podstawie badań modelem rozkładu przepuszczalności i kształtowania się wysokości zrobów (Dziurzyński, 1998). Opracowane funkcje aproksymujące rozkłady znacznie usprawniają przygotowanie danych do obliczeń numerycznych.

Należy podkreślić, że dla zwiększenia wiarygodności danych dla tworzonego modelu numerycznego obszaru zrobów konieczne jest podjęcie eksperymentów pomiarowych w obszarze zrobów. W tym zakresie były prowadzone eksperymenty (Szlązak, 1988, 2000; Nawrat, 1999) oraz teoretyczne rozważania (Dziurzyński, 1998), które pozwoliły na modelowanie rozkładu przepuszczalności, porowatości i kształtowania się wysokości zrobów. Również znane są eksperymenty polegające na pobieraniu prób powietrza z rurociągów pozostawianych w zrobach, w celu wyznaczenia zmian stężenia gazów zrobowych w trakcie postępującej eksploatacji ściany (Wasilewski i in., 2010). Wydaje się, że dopiero zastosowanie nowego rozwiązania czujników stężenia gazów mierzących pobrane próby powietrza ze zrobów z transmisją wartości mierzonych do systemu gazometrycznego (Dziurzyński i Wasilewski, 2009), pozwoli na zebranie materiału przydatnego dla walidacji badań modelowych.

2.2. Etap-2 dane dla modułu EDRYS – rysunek sieci wentylacyjnej i zrobów

Znając strukturę połączeń bocznic można narysować przestrzenny schemat wielopoziomowej, trójwymiarowej sieci. Każdej bocznicy i węzłowi przyporządkowuje się wybrane parametry przepływu: prędkość, ciśnienie statyczne, strata naporu lub inne, jak kota niwelacyjna węzła, potencjał. Parametry te mogą być wyświetlane na ekranie monitora. Niekiedy istnieje też konieczność rysowania schematów wybranych rejonów sieci lub uproszczonych schematów, w których układ bocznic zastępowany jest bocznicą równoważną.

W skład systemu zintegrowanego programu *VentGraph* wchodzi specjalny edytor graficzny *EDRYS*, przeznaczony do rysowania schematów przestrzennych sieci wentylacyjnej kopalni oraz zrobów dla rejonów eksploatacji. Z pomocą klawiatury, myszy lub digitizera można narysować schemat złożony z bocznice, węzłów, tekstów informacyjnych, symboli wentylatorów, tam, strzałek obrazujących kierunek przepływu i prostokątów, w których będą wyświetlane dane dla poszczególnych bocznic. Edytor ten umożliwia także graficzne przedstawienie obszaru zrobów i utworzenie ich struktury w sposób automatyczny. Jest on poszerzony o dodatkowe opcje związane z wyborem rejonów sieci i opracowywaniem w nich zrobów. Program przewiduje możliwość opracowywania danych dla max. 4 zrobów w sieci. Zroby te mogą występować w osobnych rejonach sieci jak też mogą być zgrupowane w rejonie w zależności od potrzeb danej kopalni.



Rys. 2. Widok dostępnych opcji modułu EDRYS

Jeżeli sieć wentylacyjna kopalni jest bardzo duża, rysunek jest skomplikowany i obserwacja symulowanych w sieci zjawisk jest utrudniona, wtedy użytkownik ma możliwość wyodrębnienia z sieci obszaru (rejonu sieci), w którym będzie mógł przeprowadzać obserwację tych zjawisk w bardziej czytelny sposób. Do tego celu służy opcja programu *Rejon*. Zaleca się zwłaszcza tworzenie rejonów w części sieci ze ścianami wraz z przylegającymi do nich zrobami ponieważ umożliwia to lepszą obserwację zjawisk zachodzących w obszarze zrobów. Opcja *Rejon* umożliwia użytkownikowi tworzenie nowych wybranych z sieci rejonów i modyfikację wcześniej opracowanych. Usuwanie i dodawanie łamanych oraz innych elementów poprzez tą opcję, nie jest równoznaczne z usuwaniem z rysunku sieci, elementy te nie pojawiają się jedynie na rysunku rejonu.

W celu rozpoczęcia rysowania zaleca się, aby rysujący dysponował rysunkiem schematu przestrzennego oraz mapami pokładów eksploatowanych ścian. Mając do dyspozycji rysunek schematu przestrzennego oraz wprowadzoną strukturę sieci przystępuje się do odwzorowania rysunku w komputerze. Odwzorowanie schematu przestrzennego i obszaru zrobów umożliwia szereg opcji modułu *EDRYS* programu *VentGraph*. Dla sprawnego opracowania rysunku należy zapoznać się ze instrukcją obsługi programu, gdzie dokładnie opisano działanie poszczególnych opcji programu. (Dziurzyński i in., 2015)

Mając narysowany schemat przestrzenny sieci wentylacyjnej kopalni, należy przystąpić do projektowania zrobów w sieci i wybrać rejon ze ścianą oraz zaprojektować w nim zroby. W programie *VentGraph* możliwe jest automatyczne tworzenie zrobów, reprezentowanych przez bocznicę zrobową, w których będą przeprowadzane obliczenia stanów ustalonych i nieustalonych przepływu powietrza i gazów w wyrobiskach, a wyniki tych obliczeń będą reprezentowane na rysunku w postaci skali barw obrazującej stężenia poszczególnych gazów tej mieszaniny.

Przydatną cechą modułu *EDRYS* jest możliwość dokonania zmian w istniejącym już rysunku zrobów. Po wybraniu w opcji „*Pokaż*” odpowiedniego rejonu (na ekranie rysunek rejonu), w opcji „*Edycja*” użytkownik wybiera podopcję „*zroby*” i wskazuje na zroby do edycji (na rysunku). Wtedy na ekranie pojawi się panel Edycji zrobów, w którym można dokonać zmian geometrycznych zrobów, przeliczyć koty lub zmieniając parametry fizyczne zrobów obliczyć nowe opory bocznic zrobowych. Takich samych zmian można dokonać w module *EDTXT* wybierając opcję „*Zroby*” > „*Podział*”. Zmianie ulegnie również rysunek schematu przestrzennego sieci.

Pozostałe moduły programowe do obliczeń stanów ustalonych jak i awaryjnych w sieci wyrobisk i zrobów używają zbiorów danych przygotowanych przez moduły *EDTXT* i *EDRYS*.

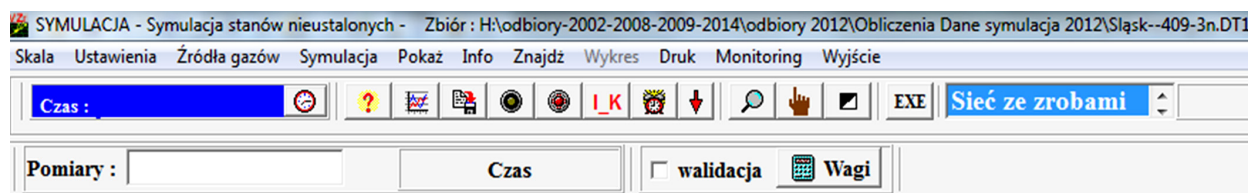
2.3. Etap-3 Dane dla modułu SYMULACJA

Możliwości programu *VentGraph-plus* są znaczne i pozwalają rozpatrywać wiele scenariuszy przewietrzania rejonów eksploatacji systemem ścianowym z uwzględnieniem:

- dopływu metanu do zrobów i wyrobisk przyścianowych,
- dopływu metanu wynikającego z pracy kombajnu i przenośnika,
- zmiany oporu ściany wynikającego z ruchu kombajnu,

- wpływu zmian ciśnienia atmosferycznego i uwzględnienie oddychania zrobów,
- zmiany w warunkach przewietrzania rejonu, stawianie i otwieranie tam,
- inertyzacji zrobów dwutlenkiem węgla, azotem i metanem,
- rozwoju ogniska pożaru w wyrobisku i zrobach.

Bibliografię dotyczącą zastosowanego modelu matematycznego i jego uzupełnień oraz inną bezpośrednio związaną z modulem *SYMULACJA* podano w spisie literatury. Moduł ten w zależności od rozważanego zagadnienia przebiegu procesu przewietrzania, wynikającego ze scenariusza rozwoju zaburzenia przepływu powietrza i gazów wymaga znajomości wielu dodatkowych parametrów i danych dla prowadzenia symulacji.



Rys. 3. Widok dostępnych opcji modułu SYMULACJA

Potrzebne dane wprowadza się w kolejnych opcjach programu: Ustawienia, Źródła gazów, Symulacja, Monitoring (Rys. 3):

a. Rozpływ gazów pożarowych

Opcja ta umożliwia ustawienie miejsca pożaru w dowolnym wyrobisku sieci. Użytkownik kursorem myszy wskazuje miejsce założonego pożaru i lewym klawiszem myszy zatwierdza położenie ogniska pożaru. Na rysunku sieci we wskazanym miejscu umieszczony zostaje symbol ogniska pożaru przyjęty tak jak inne symbole stosowane w programie wg polskich norm. Jednocześnie pojawia się okno programu zawierające informację o wybranej bocznicy, w której zlokalizowano pożar, umożliwiające edycję następujących parametrów określających to ognisko:

- rodzaju spalanego paliwa,
- maksymalnej długości strefy ognia,
- intensywności pożaru (w skali 0÷10)
- % CO w produktach spalania; parametr ten określa zawartość tlenku węgla w produktach spalania, Z praktyki górniczej, dotyczącej pożarów wiadomo, że zawartość tlenku węgla może zmieniać się w szerokim zakresie; najczęściej spotykaną wartością jest 10% udział CO w produktach spalania;
- stała czasowa narastania powierzchni pożaru [s];

Ognisko pożaru w trakcie procesu palenia, szczególnie w fazie początkowej, zwiększa swoją powierzchnię. Parametr ten określa stała czasowa narastania powierzchni pożaru do wartości maksymalnej, zależnej między innymi od maksymalnej długości strefy ognia. Z praktyki górniczej, dotyczącej pożarów wynika, iż parametr ten zawiera się w granicach 10 000÷20 000 sek. Dla celów symulacji różnych wariantów przebiegu sytuacji pożarowej wygodniejsze jest przyjęcie dużo mniejszych wartości, np. 1000÷3000 sek.

b. Kombajn i przenośnik

Opcja ta służy do określenia położenia kombajnu pracującego na ścianie. W oknie dialogowym programu należy podać numer zrobów, do których przylega ściana z kombajnem, nr węzła początkowego od którego startuje kombajn oraz położenie początkowe kombajnu wzgl. tego węzła jeśli nie startuje od niego. Dla przenośnika ścianowego należy określić czy jego ruch jest zgodny z kombajnem czy nie, oraz poprzez podanie numeru bocznicy należy określić wyrobisko, w jakim znajduje się przenośnik transportujący urobioną przez kombajn węgiel.

c. Parametry dla kombajnu

Opcja ta umożliwia podanie przyjętych w programie parametrów charakteryzujących pracę kombajnu na ścianie oraz wprowadzenia właściwości fizycznych węgla i metanu wydzielanego z urobku. Parametry

te użytkownik może zmienić w zależności od warunków panujących w poszczególnych kopalniach jak i swojej wiedzy.

Potrzebne dane dzieli się na dwie grupy. Pierwsza grupa danych, zawiera parametry charakterystyki ściany, do której należy zaliczyć: lokalny opór aerodynamiczny jaki wynika z gabarytów kombajnu, wysokość ściany, gęstość węgla, wielkość zabioru kombajnu, prędkość urabiania kombajnu, prędkość transportu urobku na przenośniku ścianowym i przenośniku taśmowym w wyrobisku górniczym. Ponadto z uwagi na fakt, że rozpatruje się tylko jeden skraw urabiania kombajnem przyjmuje się stałą długość strefy oddziaływania kombajnu (strefa emisji metanu) i czas ustalania się emisji metanu. Przede wszystkim model opisujący emisję metanu z calizny urabianej kombajnem zakłada jednorodność urabianego pokładu. W rzeczywistości takie parametry jak porowatość i przepuszczalność mogą się zmieniać wzdłuż ściany powodując zmienność prędkości wypływu metanu w zależności od aktualnego położenia kombajnu. Mogą też występować szczeliny i uskoki powodując znaczące zmiany emisji w chwili, gdy kombajn urabia w miejscu ich występowania.

Drugą grupę danych dobieranych podczas wariantowych symulacji stanowią:

- początkowa prędkość wydzielania metanu,
- największa prędkość wydzielania metanu,
- stałe $Pś$ i $Tśm$, zależne od własności sorpcyjnych węgla, od stopnia rozdrobnienia urobku i od średniej zawartości początkowej metanu w urobionym węglu, m^3/t . Wartości tych parametrów można uzyskać na drodze eksperymentalnej.

Istotnym elementem programu komputerowego *VentGraph-plus* jest algorytm pozwalający na dokładne odtworzenie harmonogramu jazdy kombajnem podczas urabiania. Zasadnicze cechy tego harmonogramu to:

- zmienna prędkość ruchu kombajnu podczas urabiania w dwu kierunkach.
- uwzględnienie przerw w pracy kombajnu (postój).
- zmiany długości przebytej drogi między pracą kombajnu a postojem.

Procedury programu wymagają utworzenia harmonogramu pracy kombajnu np. w postaci graficznej z możliwością modyfikacji przerw w pracy kombajnu, lub w postaci tabelarycznej poprzez podanie ciągu liczb: podział na odcinki drogi, czas rozpoczęcia pracy, rodzaj pracy (urabianie, postój), aktualna prędkość kombajnu $[m/s]$ w danym odcinku, kierunek urabiania, przebyta droga w $[m]$ od początku ściany.

d. Zawiesina

Opcja pozwala na ustawienie rurociągów w kopalnianych zrobach w celu doszczelniania tych zrobów mieszaniną popiołowo-wodną dostarczaną przez te rurociągi, usunięcie rurociągu i zmianę parametrów ustawionego rurociągu.

Program wymaga wprowadzenia następujących parametrów (danych) przyjętego modelu matematycznego dotyczących podawanej zawiesiny. Są to:

- numer zrobów ściany do doszczelniania zawiesiną,
- względna wysokość wylotu rury w stosunku do wysokości zrobów,
- rozlewność zawiesiny,
- strumień objętości podawanej zawiesiny $[m^3/s]$,
- gęstość podawanej zawiesiny $[kg/m^3]$,
- lokalizacja we współrzędnych zrobów ściany (od początku ściany) końca rurociągu podawanej zawiesiny dla każdego rurociągu oddzielnie, przy czym właściwe jest, ze względów numerycznych, żeby wyloty te znajdowały się w węzłach bocznie zrobowych.

e. Źródła gazów do inertyzacji

Opcja ta pozwala na ustawienie źródeł metanu, azotu lub dwutlenku węgla w miejscu wypływu gazu w sieci wentylacyjnej kopalni.

Wybór miejsca źródła dopływu gazu (max 10 źródeł), dla których określa się metanowość danego źródła np.: $2.5 m^3/s CH_4$, Zakłada się, że stężenie dopływającego metanu wynosi 100%.

Podobnie, w dowolnym miejscu sieci, można ustawić źródła dwutlenku węgla, azotu (max 10 źródeł). Należy wprowadzić dane dotyczące źródła:

- dopływu $[m^3/s]$ dwutlenku węgla lub azotu,
- stężenia mieszaniny [%].

f. Opcja Monitoring

Opcja ta wymaga połączenia procedur programu systemu symulacji z programem transferu danych z systemu gazometrycznego konkretnej kopalni. Dla wykorzystania wskazań czujników systemu gazometrycznego wymagana jest odpowiednia wersja systemu ZEFIR, pracująca w systemie operacyjnym *WINDOWS* oraz program *ZEFIR-TRANSFER* umożliwiający dostęp do bazy danych. Program ten jest rozprowadzany przez Laboratorium Programowania Komputerów „Prunella” z Katowic. Dla celów współpracy czujników gazometrycznych z programem *VentGraph-plus*, należy wyznaczyć dokładną lokalizację czujników gazometrii w rozważanym rejonie ściany, a nawet w całej kopalni. Zastosowanie danych rejestrowanych w systemie gazometrycznym jest przydatne podczas prowadzenia procesu weryfikacji i walidacji narzędzi programowych oraz przyjętych algorytmów obliczeniowych. Procedura walidacji umożliwia obserwację i porównanie w trakcie obliczeń dopasowania wyników obliczeń do wartości zarejestrowanych w kopalnianym systemie gazometrii automatycznej.

Przygotowanie danych uzyskanych z systemu gazometrycznego kopalni wymaga odpowiedniej obróbki, którą przedstawiono w kolejnym rozdziale artykułu.

3. System monitorowania parametrów przepływu powietrza

Systemy monitorowania zagrożeń gazometrycznych stosowane powszechnie przez kopalnie oprócz nadzoru nad stanem bezpieczeństwa, a także sygnalizacją stanów awaryjnych i alarmowych, stanowią również źródło danych o parametrach środowiska w podziemiach kopalni w warunkach normalnych oraz awaryjnych. Istotą systemów gazometrii automatycznej jest kontrola i monitorowanie parametrów powietrza w ustalonych miejscach sieci wentylacyjnej kopalni.

Systemy gazometryczne stosowane w kopalniach głębinowych podlegają rozwojowi w zakresie funkcjonalnym i stosowanych technologii. Zwiększa się liczba i parametry stosowanych czujników i układów pomiarowych. Obecnie kopalnie stosują (*Raport...*, 2013) ponad 1200 anemometrów (średnio około 40 w kopalni) oraz ponad 250 czujników ciśnienia barometrycznego (średnio około 8-9 w kopalni) czy ponad 4500 metanomierzy (średnio około 150 w kopalni). Współczesne systemy monitorowania z czasem rejestracji zdarzeń w cyklu co 1 czy 2 sekundy przy tak znacznej liczbie czujników, dostarczają dużej liczby danych o zjawiskach zachodzących w sieci wentylacyjnej kopalni. Obserwując rozwój systemów gazometrii automatycznej stosowanych w polskich kopalniach węgla (Wasilewski, 2012) wydaje się zasadne pytanie czy istnieje możliwość wykorzystania rejestracji czujników stacjonarnych w systemach automatycznych w czasie aktualizacji modelu numerycznego sieci wentylacyjnej kopalni prowadzonej przez grupy pomiarowców.

Kopalniane systemy gazometrii automatycznej i nadzoru dyspozytorskiego stanowią dziś bardzo nowoczesne i rozbudowane systemy informatyczne, które muszą zapewniać warunki niezawodności i bezpieczeństwa funkcjonalnego oraz ochrony danych. Wraz z rozwojem technologii informacyjnych praktycznie w każdej dziedzinie życia, powstały narzędzia oraz metody, które uprościły i umożliwiły gromadzenie oraz przechowywanie ogromnych ilości danych. Przykładowo w bazie danych systemu gazometrii automatycznej liczba gromadzonych danych pomiarowych dla 100 czujników tylko w czasie jednej doby tworzy zbiór liczący ponad 8,5 miliona danych. Wśród tej ogromnej ilości zgromadzonych danych znajduje się wiedza, potencjalnie użyteczna z punktu widzenia potencjalnych użytkowników oraz kopalni. Jednakże trzeba mieć świadomość, że tylko część z tej zebranej cyfrowej informacji jak na razie może zostać przeanalizowana, zrozumiana oraz wykorzystana. Ogromna ilość zgromadzonych danych, oraz potencjalne możliwości ich nowego wykorzystania doprowadziły do wzrostu zapotrzebowania na narzędzia oraz metody, które potrafią te dane przetwarzać oraz pozyskiwać z nich użyteczne informacje. Pod koniec lat 80-tych powstało pojęcie odkrywania wiedzy (ang. *knowledge discovery*) rozumiane jako nietrywialny proces polegający na odkrywaniu nowych, potencjalnie użytecznych i ostatecznie zrozumiałych wzorców z danych. Pozyskiwanie wiedzy to proces złożony i wieloetapowy – począwszy do selekcji zebranych danych, wstępnego ich przetwarzania, transformacji i wyboru najlepszego algorytmu do analizy danego problemu, a skończywszy na jej interpretacji i prezentacji użytkownikowi. Wybór właściwego algorytmu oraz jego zastosowanie do rozwiązania konkretnego problemu określane jest często terminem eksploracja danych (ang. *data mining*). Taka próba wykorzystania elementarnych narzędzi eksploracji danych została zastosowana do przygotowania danych o parametrach powietrza rejestrowanych w systemie gazometrii automatycznej do weryfikacji modeli numerycznych i symulacji procesów przewietrzania.

3.1. Gazometria automatyczna uzupełnieniem nowoczesnych metod pomiarów wentylacyjnych

Przeznaczeniem systemów gazometrii automatycznej i ich urządzeń jest kontrola i monitorowanie bezpieczeństwa i stanu wentylacji w wyrobiskach kopalni. Jest oczywiste, że bezpieczna eksploatacja we współczesnych kopalniach wymaga stosowania nowoczesnych i niezawodnych systemów gazometrycznych. Systemy gazometrii automatycznej w polskim górnictwie mają strukturę typową dla systemów nadzoru dyspozytorskiego procesów przemysłowych. W tego typu systemach wyróżnia się część obiektową oraz stacje dyspozytorskie. W kopalnianym systemie gazometrii automatycznej część obiektową stanowią zlokalizowane w wyrobiskach podziemnych czujniki i stacje dołowe spełniające funkcje koncentratorów danych i układów wykonawczych. Stacje powierzchniowe zawierają układy transmisji danych i zasilania urządzeń dołowych i stanowią element pośredni dla komputerowych systemów dyspozytorskiego nadzoru.

Współczesne systemy gazometrii automatycznej, wykorzystują najnowsze rozwiązania z zakresu metrologii gazów jak i pomiarów parametrów fizycznych powietrza.

Pomiar stężenia metanu w wyrobiskach kopalni w kraju i na świecie od lat odbywa się z wykorzystaniem metody katalitycznego spalania w zakresie do 5% CH₄. W zakresie tzw. wysokich stężeń (5÷100% CH₄) stosuje się metodę termokonduktometryczną. Współczesne metanomierze górnicze wykorzystują połączenie obu tych metod mierząc w zakresie 0÷100% CH₄.

Do pomiaru stężenia innych gazów w wyrobiskach kopalni w kraju i na świecie od lat wykorzystuje się metodę elektrochemiczną, która charakteryzuje się możliwością selektywnego pomiaru wybranego gazu (zależnie od budowy i katalizatora). W praktyce w górniczych czujnikach tę metodę wykorzystuje się do pomiaru tlenu i tlenku węgla. Rozwój metod pomiarowych doprowadził do coraz szerszego zastosowania metod absorpcji podczerwieni w selektywnych pomiarach gazów (CO₂, CH₄ itp.).

Czujniki prędkości powietrza (anemometry) stosowane w podziemnych wyrobiskach kopalń wykorzystują różne metody pomiarowe, w tym mechaniczne (obrotowe) oraz wykorzystujące różne zjawiska fizyczne bez części ruchomych. W praktyce górniczej w systemach gazometrii automatycznej stosuje się anemometry: skrzydełkowe, akustyczne, termooanemometry, zrzućanie wirów (Vortex).

Wprowadzone w ostatnich latach do wyrobisk podziemnych kopalń czujniki ciśnienia bezwzględnego powietrza wykorzystują precyzyjne sensory piezorezystancyjne.

Konieczność ciągłości pomiarów nawet w stanach krytycznych, tj. w atmosferze wybuchowej, wymaga stosowania wyrafinowanych metod zasilania układów pomiarowych bardzo niską iskrobezpieczną energią. Obecnie najnowsze rozwiązania stanowią systemy o działaniu ciągłym, które umożliwiają szybkie reakcje systemu (czas reakcji krótszy nawet od 4 sekund) oraz rejestrację danych i zdarzeń z bardzo dużą dynamiką, co ma istotne znaczenie szczególnie w przypadku wypadków i katastrof, kiedy zdarzenia mają bardzo gwałtowny przebieg.

3.2. Podstawowe funkcje systemu gazometrii automatycznej

Istotną cechą systemu w zakresie kontroli zagrożeń metanowych, oprócz pomiarów i rejestracji stężeń metanu, są także wyłączenia energii elektrycznej w stanach awaryjnych oraz krytycznych, tzw. metanometria automatyczna. W systemie metanometrii automatycznej sterowanie wyłączeniami energii elektrycznej i blokada załączeń energii są możliwe na różnych poziomach, tj. bezpośrednio przez wyjścia metanomierzy, pośrednio, lokalnie poprzez centralki dołowe, centralnie z komputera na powierzchni poprzez tzw. „matrycę wyłączeń” pozwalające na realizację złożonych układów wyłączeń o ogólnokopalnianym zasięgu.

Idea wczesnego wykrywania pożarów w wyrobiskach podziemnych kopalń tzw. CO-metrii automatycznej opiera się na ciągłych pomiarach parametrów powietrza kopalnianego za pomocą stacjonarnych czujników umieszczonych w ustalonych punktach kopalni. Czujniki podziemne (tlenku i dwutlenku węgla, tlenu, dymu, przepływu powietrza oraz temperatury powietrza ewentualnie również temperatury górotworu) dostarczają bieżących informacji o zmianach składu powietrza kopalnianego i innych parametrów atmosfery w wyrobiskach kopalni. Specjalistyczne metody przetwarzania danych zastosowane w programach komputera centralnego dają dyspozytorowi kopalni bieżące informacje dla kontroli i wczesnego wykrywania pożarów oraz sygnalizują stany odbiegające od normy. Zastosowane algorytmy dotyczą nie tylko pojedynczych sygnałów z czujników, ale także pozwalają na stosowanie złożonych wskaźników pożarowych dla grupy kilku czujników, np. stosuje się wskaźnik wydatku tlenku węgla czy jego przyrostu stężenia tlenku węgla w kontrolowanym rejonie kopalni.

Monitorowanie ciśnienia bezwzględnego w wyrobiskach kopalni, tzw. barometria automatyczna została wprowadzona do systemu monitorowania zagrożeń gazowych po opracowaniu iskrobezpiecznego, zintegrowanego czujnika parametrów powietrza typ THP dokonującego pomiarów ciśnienia bezwzględnego, temperatury oraz wilgotności. Należy szczególnie podkreślić bardzo wysoką dokładność czujnika ciśnienia bezwzględnego (10 Pa). Doświadczenia z eksploatacji, w polskich kopalniach, pozwalają stwierdzić, że w szczególnie trudnych warunkach ruchowych, np. w sąsiedztwie rozległych zrobów czy pól pożarowych w części sieci wrażliwej na zaburzenia rejestracja ciśnienia bezwzględnego może mieć kapitalne znaczenie w działaniach profilaktycznych dla utrzymania stabilnej wentylacji.

Obserwując rozwój systemów gazometrii automatycznej stosowanych w polskich kopalniach węgla (Wasilewski, 2012) wydaje się zasadne pytanie czy istnieje możliwość wykorzystania rejestracji czujników stacjonarnych w systemach automatycznych w czasie aktualizacji modelu numerycznego sieci wentylacyjnej kopalni prowadzonej przez grupy pomiarowców. Czujniki mierzą lokalne parametry powietrza w przekrojach ich zabudowy, ale co istotne, pomiary te są rejestrowane „on-line” w czasie trwania całego cyklu pomiarów wykonywanych okresowo przez grupy pomiarowców.

3.3. Elementarne warunki wykorzystania danych z systemów gazometrii do celów aktualizacji modelu sieci

Obserwacja zmian parametrów powietrza w czasie normalnej pracy, a w szczególności w czasie zaburzeń naturalnych i technologicznych stanowi kapitalny materiał poznawczy dla badań stanów nieustalonych bez konieczności prowadzenia drogich eksperymentów. Zebrany materiał stanowi bardzo obszerną bazę danych, która stanowi cenny materiał poznawczy dla szerokiej analizy przypadków i zdarzeń oraz prowadzenia badań modelowych metodami symulacji komputerowych (Dziurzyński i in., 2013). Chcąc wykorzystać dane z tych systemów do celów poznawczych np. aktualizacji modelu numerycznego przepływu powietrza w kopalnianej sieci wentylacyjnej oraz modelowania stanów nieustalonych wywołanych np. procesami technologicznymi czy zdarzeniami należało opracować metodykę, która uwzględni istotne uwarunkowania takiego zastosowania (Wasilewski i in., 2014).

Wykorzystanie bazy danych rejestrowanych w systemach gazometrii automatycznej jako uzupełnienie pomiarów in-situ zarówno do celów tworzenia modeli numerycznych jak i ich weryfikacji musi uwzględniać własności metrologiczne tych czujników oraz specyficzne wymagania stosowania czujników stacjonarnych w systemach gazometrii automatycznej.

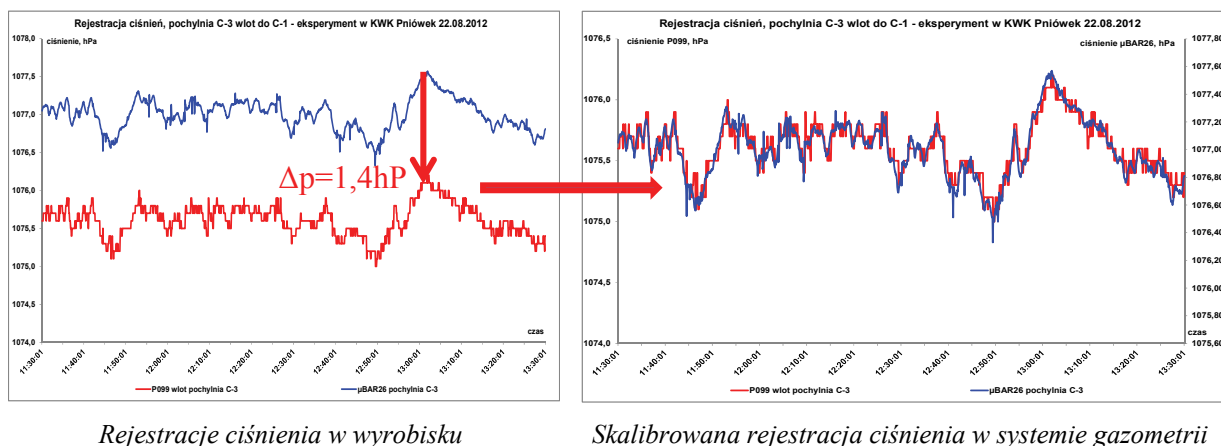
Przykładowo metanomierze w kopalnianych systemach monitorowania rejestrują stężenia metanu w pełnym zakresie 0÷100% CH₄, tradycyjnie z rozdzielczością 0,1% CH₄, natomiast tylko w specjalnych zastosowaniach np. w czasie eksperymentów, systemy gazometrii pozwalają rejestrować stężenia metanu z rozdzielczością 0,01% CH₄. Zagadnienie rozdzielczości w rejestracji i archiwizacji danych w systemach gazometrii dotyczy również innych parametrów np. prędkości powietrza często ±0,2 m/s czy ciśnienia barometrycznego ±1 hPa. Jak pokazują wcześniejsze badania rozdzielczość rejestracji parametrów powietrza ma istotne znaczenie szczególnie w czasie eksperymentów in-situ.

Doświadczenia pokazały, że w celu wykorzystania danych z monitoringu do weryfikacji i walidacji modeli numerycznych konieczne było wstępne przygotowanie danych, min. przez ich skalibrowanie według wzorców czy wygładzenie.

Kalibracja rejestracji ciśnienia barometrycznego

Aktualizacja modelu numerycznego kopalni wymaga wykonania pomiarów parametrów powietrza przez grupy pomiarowców w czasie wielogodzinnych sesji z wykorzystaniem „wędrujących przyrządów”. Grupy pomiarowe przemieszczają się w sieci wyrobisk po wcześniej ustalonych trasach rejestrując wyniki lokalnych i chwilowych pomiarów w wybranych punktach stosując precyzyjne przyrządy ręczne, a w szczególności mierniki ciśnienia barometrycznego typu μBAR, anemometry ręczne typu μAS, czujniki temperatury (higrometry i psychrometry). Obecnie istnieje możliwość wykorzystania rejestracji czujników stacjonarnych w systemach gazometrii w czasie aktualizacji modelu numerycznego sieci wentylacyjnej kopalni prowadzonej przez grupy pomiarowców. Czujniki systemu gazometrii mierzą lokalne parametry powietrza w przekrojach ich zabudowy, ale co istotne pomiary są rejestrowane „on-line” w czasie trwania całego cyklu pomiarów wykonywanych okresowo przez grupy pomiarowców. Aby można było korzystać z rejestracji ciśnienia barometrycznego w systemie gazometrii konieczna jest kalibracja wskazań za pomo-

ca precyzyjnego miernika ciśnienia typu μ BAR przez chwilową rejestrację ciśnienia w punkcie zabudowy czujnika ciśnienia systemu.



Rys. 4. Schemat kalibracji rejestracji ciśnienia barometrycznego w systemie gazometrii za pomocą precyzyjnego miernika ciśnienia typu μ BAR

Badania i eksperymenty pokazały (Raport..., 2013), że taka kalibracja wymaga wyznaczenia różnicy wskazań czujnika systemu i czujnika precyzyjnego (referencyjnego), na pokazanym przykładzie 1,4 hPa, ale było to również 4,5 hPa, która pozwala na uzyskanie skalibrowanej rejestracji przebiegu ciśnienia bezwzględnego w systemie gazometrii zgodnego z rejestracją w mierniku μ BAR.

3.4. Eksploracja danych (*data mining*) rejestrowanych w systemach gazometrii

Kopalniane systemy gazometrii automatycznej i nadzoru dyspozytorskiego dostarczają ogromne ilości informacji i stanowią dziś bardzo nowoczesne i rozbudowane systemy informatyczne, które muszą zapewniać warunki niezawodności i bezpieczeństwa funkcjonalnego oraz ochrony danych. Ogromna liczba gromadzonych w tych systemach danych oraz potencjalne możliwości ich nowego wykorzystania doprowadziły do poszukiwania narzędzi oraz metod, które potrafią te dane przetwarzać oraz pozyskiwać z nich użyteczne informacje. W tym celu podjęto próbę wykorzystania elementarnych narzędzi eksploracji danych (tzw. *data mining*) do przygotowania danych o parametrach powietrza rejestrowanych w systemie gazometrii automatycznej dla weryfikacji modeli numerycznych i symulacji procesów przewietrzania.

Niezwykle ważnym elementem eksploracji danych (*ang. data mining*) jest odpowiednie przekształcenie surowych danych zawartych w bazach danych kopalnianych systemów gazometrii automatycznej i nadzoru dyspozytorskiego. Dotyczy to przede wszystkim wyeliminowania błędnych i uzupełnienia brakujących wartości, a także wygładzeniu oraz odpowiedniej agregacji danych.

Wypełnianie danych (tworzenie szeregów czasowych)

Systemy monitorowania parametrów powietrza w bazach danych bieżących nie przechowują oryginalnych wskazań czujników, ale w formie skompresowanej. Dane pomiarowe są transmitowane do systemu w odstępach wynikających z okresów próbkowania sygnałów (od 1 do kilku sekund). W celu optymalizacji zajętości pamięci stosowana jest kompresja danych i w bazie danych zapisuje się tylko zmiany wskazań czujników ze znacznikiem czasu (tzw. stempel czasowy). Stąd w pierwszej kolejności dane muszą być wypełnione i uzupełnione do formy szeregów czasowych.

data	czas	czas trwania	pomiar
06.10.2014	20:55:53	00:00:02	1.24
06.10.2014	20:55:55	00:00:02	1.23
06.10.2014	20:55:57	00:00:02	1.24
06.10.2014	20:55:59	00:00:08	1.23
06.10.2014	20:56:07	00:00:02	1.24
06.10.2014	20:56:09	00:00:04	1.23
06.10.2014	20:56:13	00:00:02	1.24
06.10.2014	20:56:15	00:00:12	1.23
06.10.2014	20:56:27	00:00:02	1.24
06.10.2014	20:56:29	00:00:02	1.23
06.10.2014	20:56:31	00:00:02	1.24
06.10.2014	20:56:33	00:00:10	1.23
06.10.2014	20:56:43	00:00:04	1.24
06.10.2014	20:56:47	00:00:50	1.23
06.10.2014	20:57:37	00:00:06	1.24
06.10.2014	20:57:43	00:00:08	1.23

data	czas	pomiar
06.10.2014	20:55:55	1.23
06.10.2014	20:55:57	1.24
06.10.2014	20:55:59	1.23
06.10.2014	20:56:01	1.23
06.10.2014	20:56:03	1.23
06.10.2014	20:56:05	1.23
06.10.2014	20:56:07	1.24
06.10.2014	20:56:09	1.23
06.10.2014	20:56:11	1.23
06.10.2014	20:56:13	1.24
06.10.2014	20:56:15	1.23
06.10.2014	20:56:17	1.23
06.10.2014	20:56:19	1.23
06.10.2014	20:56:21	1.23
06.10.2014	20:56:23	1.23
06.10.2014	20:56:25	1.23
06.10.2014	20:56:27	1.24
06.10.2014	20:56:29	1.23
06.10.2014	20:56:31	1.24

Rys. 5. Schemat wypelniania skompresowanych danych – tworzenie szeregów czasowych

Eliminacja błędnych i uzupełnianie brakujących danych

Chwilowe przerwy czy awarie w systemie transmisji danych lub pojawienie się wartości błędnych w zapisach z czujników, np. przekroczenie zakresu pomiarowego, wymaga eliminacji błędnych i uzupełnienia brakujących danych. W obu przypadkach można zastosować jedną z następujących metod:

- wpisanie ostatniej prawidłowo zarejestrowanej wartości,
- wpisanie średniej z kilku ostatnio zarejestrowanych prawidłowych wartości,
- wpisanie wartości interpolowanej np. liniowo, z ostatniej wartości przed brakiem i pierwszej wartości po pojawieniu się pomiarów.

data	czas	wartość
06.10.2014	20:50:57	1.22
06.10.2014	20:50:59	1.23
06.10.2014	20:51:01	1.23
06.10.2014	20:51:05	1.22
06.10.2014	20:51:07	1.22
06.10.2014	20:51:09	bd
06.10.2014	20:51:11	1.22
06.10.2014	20:51:13	1.22
06.10.2014	20:51:15	1.22
06.10.2014	20:51:17	1.21
06.10.2014	20:51:19	1.21

data	czas	wartość
06.10.2014	20:50:57	1.22
06.10.2014	20:50:59	1.23
06.10.2014	20:51:01	1.23
06.10.2014	20:51:05	1.22
06.10.2014	20:51:07	1.22
06.10.2014	20:51:09	1.22
06.10.2014	20:51:11	1.22
06.10.2014	20:51:13	1.22
06.10.2014	20:51:15	1.22
06.10.2014	20:51:17	1.21
06.10.2014	20:51:19	1.21

Rys. 6. Schemat uzupełniania brakujących danych

Wygladzanie danych

Przyjęta w systemach monitorowania parametrów powietrza rozdzielczość rejestracji parametrów, a w szczególności prędkości powietrza ($0,1 \pm 0,2$ m/s) czy stężenia metanu ($0,1\%$ CH₄) nie jest wystarczająca i często nie oddaje charakteru zmian parametrów powietrza, stąd w celu wykorzystania danych z monitoringu do weryfikacji i walidacji modeli numerycznych konieczne jest operowanie na danych wygładzonych. Doświadczenia pokazują, że skuteczne jest tu zastosowanie jednej poniższych metod:

- filtracja dolnoprzepustowa Browna,
- metoda ruchomej średniej,

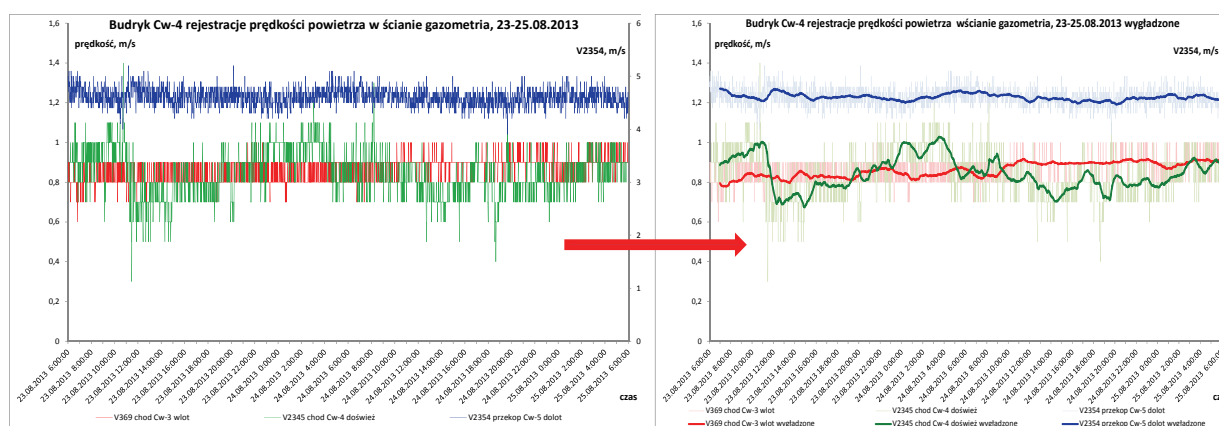
Filtracja dolnoprzepustowa Browna

W celu wygładzenia sygnału prędkości powietrza można stosować (Trutwin i Wasilewski, 1994) cyfrowy filtr dolnoprzepustowy Browna, dany równaniem

$$y_i = \alpha y_{i-1} + (1 - \alpha) x_i$$

gdzie y_i są elementami wygładzonego szeregu czasowego prędkości powietrza, x_i są elementami szeregu mierzonej prędkości powietrza. Współczynnik filtracji α jest liczbą rzeczywistą z przedziału $(0,1)$, zależną od dolnej częstotliwości granicznej filtru. Dobór współczynnika wygładzania α prowadzono eksperymentalnie, tak długo, aż odfiltrowana składowa $\eta_v(t)$ spełniała warunki tzw. „białego szumu”, tzn. była składową stacjonarną o zerowej wartości średniej i rozkładzie normalnym.

Tę metodę wygładzania pokazano poniżej na przykładzie sygnałów prędkości powietrza w ścianie rejestrowanych przez anemometry systemu gazometrii automatycznej



Rys. 7. Efekt wygładzania (filtracji dolnoprzepustowej) prędkości powietrza w ścianie rejestrowanych przez anemometry systemu gazometrii

Wygładzanie metodą ruchomej średniej

Innym sposobem wygładzania sygnału pomiarowego w celu eliminacji szumu reprezentującego składową fluktuacji jest metoda ruchomej średniej uśredniania wartości chwilowych z tzw. ruchomym oknem o ustalonym okresie uśredniania

$$y_i = (x_{i-N+1} \dots + x_i) / N$$

gdzie y_i są elementami wygładzonego szeregu czasowego sygnału, x_i są elementami surowego szeregu pomiarowego, a N jest okresem uśredniania (szerokością okna uśredniającego), tzn. liczbą wartości szeregu wziętej do średniej.

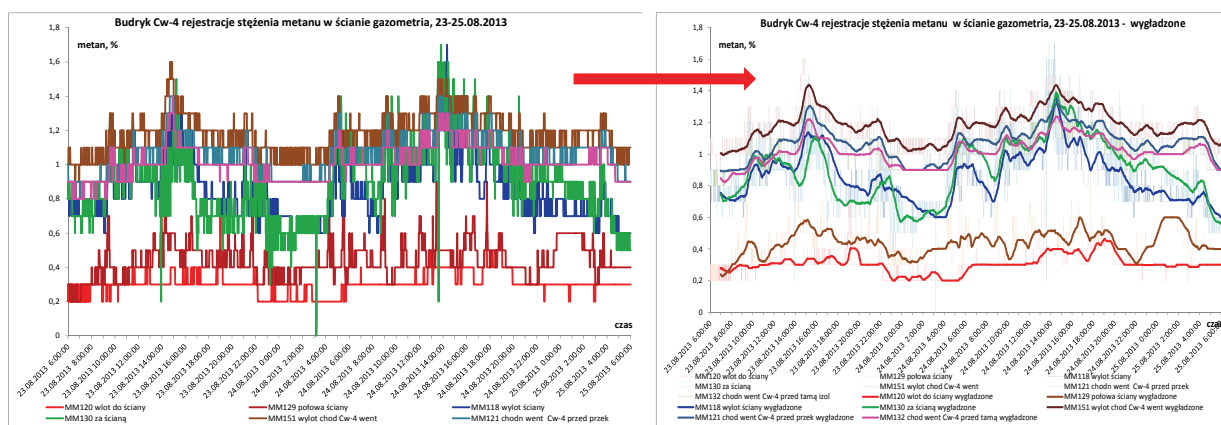
Tę metodę wygładzania pokazano poniżej na przykładzie sygnałów stężenia metanu w ścianie rejestrowanych przez metanomierze systemu gazometrii automatycznej.

Agregacja danych

Kolejnym mechanizmem przygotowania danych pomiarowych do celów do modelowania jest ich agregacja. W systemach analizy danych i szeregów czasowych nazywana również metodą dziesiątkowania danych. W czasie agregacji oryginalne (surowe) wartości danych pomiarowych zastępowane są przez pewną reprezentatywną wartość danego parametru, bez utraty np. charakteru jego zmian. Tego typu agregacja danych pozwala na znaczne ograniczenie rozmiaru analizowanego zbioru danych.

Parametry powietrza w kopalni głębinowej mają charakter wolnozmienny, oczywiście z wyjątkiem stanów awaryjnych czy katastrof (wyrzuty, wybuchy). Stąd w kopalnianych systemach monitorowania parametrów powietrza stosuje się następujące funkcje agregujące:

- wartość maksymalna z okresu agregacji,
- wartość średnia arytmetyczna z okresu agregacji,



Rys. 8. Efekt wygładzania (ruchomej średniej) stężenia metanu w ścianie rejestrowanych przez metanomierze systemu gazometrii

W tym wypadku konieczne jest określenie czasu agregacji. W kopalnianych systemach monitorowania i nadzoru parametrów powietrza stosuje się zwykle 1. minutę do agregacji wartości bieżących oraz godzinę, zmianę lub dobę do agregacji wartości w raportach.

4. Podsumowanie

Celem przedstawionych badań jest rozwój i doskonalenie narzędzi programowych w systemie programów komputerowych *Ventgraph* oraz *VentZroby* dla celów bieżącej kontroli i regulacji procesu przewietrzania oraz odtwarzania procesów zachodzących w czasie zdarzeń i katastrof. Połączenie możliwości wymienionych programów w jeden zintegrowany program *VentGraph-plus* współpracujący z czujnikami systemu gazometrycznego kopalni dostarcza przyjaznych narzędzi do rozwiązywania problemów wynikających z występujących zagrożeń metanowych i pożarowych. Dla realizacji celu badań dokonano modyfikacji jak również opracowano nowe procedury programu komputerowego, głównie w zakresie opracowania modelu numerycznego sieci wentylacyjnej i ich zrobów.

Przedstawiono elementy metodyki przygotowania danych wejściowych do programu. Jak widać liczba danych jest znaczna i wynika z wielkości kopalni, występujących zagrożeń oraz jest zależna od rozważanego zagadnienia.

Ciągle otwartym zagadnieniem jest wiarygodność przygotowania danych czy to na bazie pomiarów ręcznych, czy uzyskiwanych z systemu gazometrycznego. Należy uwzględnić specyfikę pomiarów punktowych czujnikami stacjonarnymi w systemie gazometrii podczas gdy w systemach obliczeń i modelowania operuje się wartościami średnimi w przekroju wyrobiska.

Praca została wykonana w roku 2015 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- Blecharz B., Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., 2003: *Symulacja przepływu mieszaniny powietrza i metanu w rejonie ściany z uwzględnieniem procesu urabiania i odstawy węgla*. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa nr 3-4, (2003) s. 55-67.
- Dziurzyński W., 1998: *Prognozowanie procesu przewietrzania kopalni głębinowej w warunkach pożaru podziemnego*, Studia, Rozprawy, Monografie Nr. 56, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN Kraków, (1998).
- Dziurzyński W., Pałka T., 2000: *Algorytmy komputerowej symulacji procesu przewietrzania umożliwiające dostęp i wykorzystanie danych systemu monitoringu sieci wentylacyjnej*. Prace IMG PAN. Vol. 2, No. 1-2 s. 161-176, (2000).
- Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., 2001: *Prognozowanie rozkładu stężenia metanu w sieci wentylacyjnej z uwzględnieniem systemu monitoringu*. Prace IMG PAN, Vol. 3, No. 2 s. 163-182, (2001).
- Dziurzyński W., Krawczyk J., Pałka T., 2004: *Obserwacja stanu sieci wentylacyjnej przy pomocy interaktywnego programu z symulacją danych z systemu monitoringu*, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, nr 1, (2004), s. 18-26.

- Dziurzyński W., Krach A., Krawczyk J., Pałka T., *Weryfikacja modelu matematycznego wydzielania metanu w rejonie ściany z uwzględnieniem zmian ciśnienia atmosferycznego*. Prace IMG PAN, T. 6, Nr 3-4, (2004), s. 131-142.
- Dziurzyński W., Krach A., J Krawczyk, Pałka T., 2005: *Walidacja modelu matematycznego przewietrzania kopalni stosowanego w programie VentMet z wykorzystaniem bazy danych pomiarowych wybranego rejonu wentylacyjnego KWK*. Prace IMG PAN, T. 7, Nr 1-2, s. 101-115, (2005).
- Dziurzyński W., Krach A. Krawczyk J., Pałka T., 2007: *Zastosowanie miary odległości szeregów czasowych do walidacji modelu matematycznego przewietrzania kopalni stosowanego w programie VentMet*. Przegląd Górniczy, nr 1, (2007).
- Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., Wasilewski St. 2007: *Walidacja komputerowego programu symulacji wentylacji VentMet dla rejonu ściany, z uwzględnieniem zmiennych w czasie źródeł metanu, związanych z cykliczną pracą kombajnu*. Prace IMG PAN Vol. 9, No. 1-4, s. 3-26, (2007).
- Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., Wasilewski St. 2008: *Walidacja programu VentZroby z wykorzystaniem wyników eksperymentu „in situ” i z zastosowaniem nowych algorytmów przygotowania danych wejściowych*. Prace IMG PAN Vol. 10, No. 1-4, s. 67-102, (2008).
- Dziurzyński W., Kruczkowski J., 2007: *Validation of the mathematical model used in the VENTGRAPH programme on the example of the introduction of new headings to the ventilation network of mine*. Archives of Mining Sciences. Vol. 52, No 3, (2007).
- Dziurzyński W., Krawczyk J., Pałka T.:2015 *VENTGRAPH dla Windows – System programów inżyniera wentylacji do analizy sieci wentylacyjnej kopalni i zrobów w stanach normalnych i awaryjnych*. Podręcznik użytkownika, IMG PAN, nie publikowane.
- Dziurzyński W., Krawczyk J., Kruczkowski J. 2008: *Assessment of stability of flow a modified mine ventilation network considering a presence of fire hazards*, Proceedings of the 12 Th U.S.12 North American Mine Ventilation Symposium, June 9-11, 2008, Reno, Newada (2008), s. 578-582, (2008).
- Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., Wasilewski St. 2009: *Walidacja procedur programu VentZroby z wykorzystaniem systemu monitoringu stanu atmosfery kopalni*. Prace IMG PAN Vol. 11, No. 1-4, s. 79-112, (2009).
- Dziurzyński W., Wasilewski S., 2009: *Monitoring air parameters and computer simulation to fight fire hazard in longwall caving*, Mine Ventilation Ninth International Mine Ventilation Congress, India, s. 927-940.
- Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., Wasilewski St. 2010: *Rozwój metody prognozowania stanu atmosfery kopalni z wykorzystaniem symulacji numerycznej oraz danych z systemu monitoringu*. Prace IMG PAN, Vol. 12, No. 1-4, (2010), s. 115-132.
- Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., Wasilewski S., 2010: *Validation of computer simulation of air parameters at a long-wall vs. results of an in situ experiment*, 13th United States North American Mine Ventilation Symposium 2010 -Hardcastle&McKinnin, s. 407-414.
- Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., Wasilewski St. 2011: *Opracowanie narzędzi programowych dla celów odtworzenia zaistniałych zdarzeń i katastrof oraz ich weryfikacja na podstawie danych „post”*. Prace IMG PAN, T. 12, nr 1-4, (2011).
- Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., Wasilewski St. 2012: *Walidacja programu komputerowego do prognozowania przewietrzania kopalni z zastosowaniem metod optymalizacji numerycznej*. Prace IMG PAN, T. 12, nr 1-4, (2012).
- Dziurzyński W., Wasilewski St., 2012: *Model and experimental studies in the longwallgoaf in the methane inflow conditions*. Proceedings of the 14th US Mine Ventilation Symposium at University of Utah, in Salt Lake City USA, 2012.
- Dziurzyński W., Krach A., Pałka T. 2014: *Computer simulation of the propagation of heat in abandoned workings insulated with slurries and mineral substances*. Archives of Mining Sciences, vol. 59 No 1 (2014) p. 3-23
- Dziurzyński W., Krach A., Pałka T. 2015: *A Reliable Method of Completing and Compensating the Results of Measurements of Flow Parameters in a Network of Headings*. Archives of Mining Sciences, Vol. 60, No 1, (2015), p. 3-24.
- Raport końcowy 2013, z zadania 3, *Opracowanie zasad pomiarów i badań parametrów powietrza kopalnianego dla oceny zagrożenia metanowego i pożarowego w podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny*, projektu strategicznego pt. „Poprawa bezpieczeństwa kopalń”, Kraków, czerwiec 2013 (niepublikowany).
- 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), 1999.
- Sikora M., Krzystanek Z., Bojko B., Śpiechowicz K., 2009: *Moduł czyszczenia i agregacji danych jako składnik systemu predykcji stężenia gazów w kopalniach węgla kamiennego*. Materiały Konferencji EMTECH, p. 175-182.
- Szlązak J., 1980: *Wpływ uszczelniania chodników przyścianowych na przepływ powietrza przez zroby*. Praca doktorska, AGH Kraków, 1980.
- Szlązak J., 2000: *Przepływ powietrza przez strefę zawału w świetle badań teoretycznych i eksperymentalnych*. Rozprawy Monografie, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków, (2000).
- Wasilewski St., Bojarski K., Kurpas M., 2007: *Badania eksperymentalne stanów nieustalonych parametrów powietrza w ścianie w czasie urabiania kombajnem*. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa. Nr 6(437) czerwiec 2007, Wyd. EMAG, Katowice, (2007).

- 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, (2010).
- Wasilewski S., 2012: *Systemy kontroli i monitorowania zagrożeń gazowych w polskich kopalniach węgla kamiennego*. Bezpieczeństwo Pacy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, nr 12 (220)/2012, s. 3-11.
- Wasilewski S., Krawczyk J., Janus J. 2014: *Ocena przydatności danych zbieranych przez czujniki systemu gazometrycznego dla celów modelowania numerycznego przepływu powietrza w kopalnianej sieci wentylacyjnej*. Prace IMG PAN, T. 16, Nr 3-4, s. 3-22, 2014.
- Wala A.M., 1992: *Teaching Mine Fire Principles with Intelligent Computer Assisted Instruction*, Proceedings of the Fifth International Mine Ventilation Congress, Marshalltown, South Africa.
- Trutwin W., Wasilewski S., 1994: *Digital filters in ventilation monitoring and control systems*. Archives of Mining Sciences, Vol. 39, No 2, p. 133-144.

Development of systems supporting the simulations of ventilation conditions in the longwall region, taking into account the sensors in the gas monitoring systems

Abstract

Research work has been continued at the Strata Mechanics Research Institute aimed to develop a computer programme for simulations of ventilation conditions in the longwall region. Key aspects to be addressed include methane emissions due to the mining operation using the combined shearer systems and conveyor installations. The programme utilises the data registered by the sensors of the gas monitoring systems. The procedure uses numerous parameters derived from mathematical models used for describing ventilation processes, motion of the shearer and of the conveyor and methane inflows, so the dedicated methodology is required specifying how to collect and prepare reliable data to be used in the programme and necessary for accurate modelling of flows of gas mixtures in the longwall regions and in the mine workings. Integration of the programmes Ventgraph and VentZroby offers a possibility to simulate the ventilation of the longwall region, taking into account the air flows through the workings being mined. Further stages will be outlined, involving the development of a database of input data: air flow parameters, specification of methane sources, operational parameters of the shearer system and the data from the gas monitoring system in the mine.

The gas monitoring systems in coal mines provide a great deal of information about the current parameters of air in the mine workings. Alongside their control function, data registered on the online basis and those stored in the database of the supervisory systems provide most valuable information allowing their wide use. In order that this vast body of data should be effectively used, tools and methods are required allowing the data processing so as to obtain the relevant information. The knowledge discovery algorithms are proposed for handling the data registered by the gas monitoring systems to support the analyses of the ventilation conditions and development and verification of numerical models of the ventilation conditions.

When utilising data registered in the system, cognisance should be taken of the metrological properties and specific requirements of the stationary sensors in the automatic gas monitoring systems. This study focuses on physical quantities which can be derived based on data registered by the gas monitoring systems and requirements are formulated for their application in simulations and verification of numerical models of ventilation conditions.

Keywords: computer simulation, database, automatic gas monitoring systems, monitoring of air parameters, data exploration for simulation and modelling