

Wieloskalowe modelowanie przepływu w rejonie ściany – wybrane zagadnienia

JERZY KRAWCZYK, JAKUB JANUS, PIOTR OSTROGÓRSKI, TERESA PAŁKA

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

Streszczenie

Systemy wentylacyjne kopalń głębinowych są zbyt rozległe i złożone, by przy wydajności współczesnych komputerów prowadzić dla całych obiektów symulacje metodą objętości skończonej. Z tego powodu są modelowane wybrane fragmenty sieci. Dla procesów stacjonarnych pominięte obszary mogą być zastąpione przez warunki na brzegach. Podczas stanów przejściowych dynamiczne własności pominiętych obszarów sieci mogą mieć istotny wpływ na przebieg zjawiska. Skutecznym rozwiązaniem może być wyodrębnienie sieci wentylacyjnej podobszaru, gdzie dokładny opis jest szczególnie uzasadniony. Podobszar ten będzie modelowany metodą objętości skończonej z użyciem dwu lub trójwymiarowego opisu. Dla pozostałej części sieci stosowany jest prostszy, jednowymiarowy opis. W ten sposób może być reprezentowana cała sieć wentylacyjna, lub jej rozległy fragment. Opracowano metodę współbieżnej symulacji niestacjonarnych przepływów, w której w kolejnych krokach czasowych programy symulacyjne wymieniają ze sobą dane, aktualizując warunki brzegowe w strefach łączących podobszary wymagający dokładniejszego opisu z pozostałą częścią sieci. Metoda ta ma zastosowanie zarówno dla jednowymiarowego quasi statycznego opisu użytego w programie Ventgraph jak i dla pełniejszego jednowymiarowego opisu przepływu mieszaniny gazów doskonałych. Opracowano specjalną wersję programu Ventgraph, która współpracuje z oprogramowaniem do symulacji metodą objętości skończonej. Podano przykład zastosowania metody dla rejonu ściany wydobywczej. Metodę objętości skończonej zastosowano dla końcowego odcinka chodnika podścianowego, samej ściany oraz początkowego odcinka chodnika nadścianowego. Dla pozostałych wyrobisk rejonu ściany zastosowano opis jednowymiarowy.

Słowa kluczowe: numeryczna mechanika płynów, modelowanie wieloskalowe, wentylacja kopalń, stany przejściowe

1. Wprowadzenie

Rozległość wyrobisk chodnikowych i przyległych zrobów tworzących rejon ściany jest zbyt duża by dla całego obszaru efektywnie prowadzić symulacje zjawisk przepływowych przy użyciu trójwymiarowych wariantów metod objętości skończonej. Nie pozwala na to wydajność współczesnych maszyn liczących.

Rozwiązania zagadnień przepływowych są wrażliwe na warunki brzeżno-początkowe. Szczególnie dla procesów nieustalonych ograniczenie się do wybranego podobszaru (na przykład fragmentu chodnika) z pominięciem wpływu otaczającej go sieci wyrobisk może znacząco pogorszyć realistyczność symulacji.

Rozwiązaniem może być łączenie prostszych, jednowymiarowych modeli z dwu lub trójwymiarowym opisem wykorzystującym metodę objętości skończonej. Za stosowaniem uproszczonych modeli przemawiają również trudności w precyzyjnym określeniu parametrów obiektu oraz warunków brzeżno-początkowych. W szczególności dotyczy to obszaru zrobów, gdzie mamy niewiele informacji o właściwościach przepływowych w ich wnętrzu (porowatości kształtu szczelin, przepuszczalności z uwzględnieniem jej anizotropii). Niniejsza publikacja przedstawia kontynuację prac (Krawczyk i in., 2012). W oparciu o wyniki wstępnych studiów jako prostsze opisy wybrano model quasi-statyczny jednowymiarowego przepływu, użyty w rodzinie programów VentGraph oraz jednowymiarowy model nieustalonego przepływu mieszaniny gazów doskonałych. Dla metody objętości skończonej wybrano oprogramowanie ANSYS-Fluent, które może być wywoływane w trybie wsadowym. We wspólnej pracy programów nadrzędną rolę będą pełniły symulatory jednowymiarowego przepływu, które będą sterować pracą programu Fluent. Programy nadrzędne są rozwi-

jane w Instytucie Mechaniki Górniczej. Ich kod źródłowy jest pisany w języku Embarcadero Delphi. Dzięki udziałowi autorów oprogramowanie można było odpowiednio zmodyfikować. Nowe funkcje tych programów sterują pracą programu Fluent w trybie wsadowym i umożliwiają wymianę danych między programami

2. Metoda współbieżnej pracy programu VentGraph i Fluent

Zagadnienie modelowania wieloskalowego rejonu ściany wydobywczej można rozwiązać synchronizując symulacje prowadzone przy pomocy autorskiego programu VentGraph z symulacjami dla wyodrębnionego dwu lub trójwymiarowego podobszaru obszaru obliczeniowego przeprowadzanym przy wykorzystaniu programu ANSYS Fluent. Podobszarem obliczeniowym będzie fragment rejonu ściany złożony z odcinka chodnika podścianowego, kanału ściany i chodnika nadścianowego, który będzie połączony z rozleglejszą siecią programu VentGraph. Idea połączenia dwóch programów polega na wymianie warunków brzegowych pomiędzy obydwooma programami.

Program Fluent może być uruchamiany w tak zwanym trybie wsadowym. Polega to na tym, że wprowadzając odpowiednią komendę w wierszu poleceń możemy uruchomić program Fluent, który wykona zaprogramowany wcześniej cykl obliczeń bez udziału operatora. Sposób działania programu określa tak zwany plik dziennika (ang. *journal file*). Nazwa tego pliku jest jednym z parametrów komendy wywołującej program. Plik dziennika może być zapisem poleceń wydawanych przez użytkownika podczas interaktywnej sesji. Po wybraniu z menu poleceniu **file/start journal** program Fluent rozpoczyna rejestrację w formie tekstowej poleceń wydawanych przez użytkownika, na przykład wczytanie pliku z danymi, uruchomienie symulacji i zapisanie wyników. Po zakończeniu rejestracji poleceń (komendą **file/stop journal**) w pliku o rozszerzeniu *.jou jest zapisywany zapis poleceń w specyficznym formacie, który po wczytaniu do programu Fluent poleceniem **file/read journal** lub uruchomieniu programu w trybie wsadowym spowoduje wykonanie zapisanej sekwencji poleceń. Plik dziennika jest plikiem tekstowym, który można edytować przy pomocy notatnika, zmieniając na przykład nazwy zbiorów danych lub modyfikując wartości wydatku na wlocie obszaru.

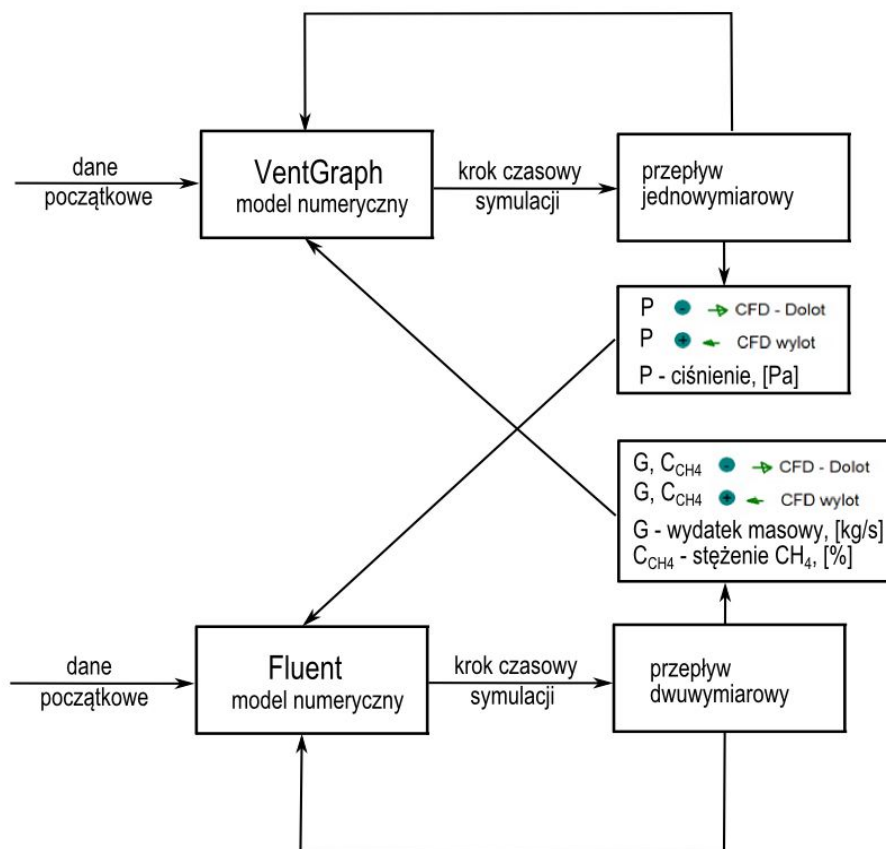
Program Fluent może generować pliki tekstowe zawierające wybrane wyniki symulacji, na przykład wydatki masowe dla dolotu i wylotu obszaru względnie udziału objętościowego metanu w tych przekrojach. Są to tak zwane pliki raportów (*.rep), które zostaną wykorzystane do przekazywania warunków brzegowych programowi VentGraph

Znając format poleceń można zaprogramować generowanie pliku dziennika i odczyt wielkości zapisanych w raportach przez zewnętrzny program, na przykład napisany w środowisku programistycznym Embarcadero Delphi.

W standardowej wersji programu VentGraph można definiować źródła metanu. Jeśli w danej bocznicy umieszczane jest źródło metanu, powoduje to podział tej bocznicy na dwie, przez nowy węzeł do którego dopływa mieszanina powietrza i metanu o stałym wydatku i stężeniu. Kolejną zmianą w strukturze sieci jest dodanie bocznicy, która o stałym wydatku, połączonej z węzłem 1 (atmosferycznym). W specjalnych wersjach programu można umieszczać w sieci źródła i upust, dla których dopływ lub odpływ i skład mieszaniny gazów może być zmienny, zgodnie z zapisem w uprzednio przygotowanych plikach tekstowych. Elementy te zmodyfikowano tak, by umożliwiły współpracę VentGraph-a z programem Fluent. Wartości wydatków masowych i stężeń dla źródła i upustu będą otrzymywane z symulacji metodą objętości skończonej (CFD) przepływu w podobszarze rejonu ściany. Analogicznie symulacja dla modelu CFD ściany wymaga zadania warunków brzegowych. Do tego celu jako warunki brzegowe zostały wybrane ciśnienie na wlocie i wylocie rejonu. W przekroju dolotowym końcowego odcinka chodnika podścianowego ciśnienie na przekroju wlotowym oraz ciśnienie na przekroju wylotowym chodnika nadścianowego będą importowane z programu VentGraph. Ponieważ program Fluent operuje ciśnieniem różnicowym, będzie zadawana różnica ciśnień między wlotem a wylotem, wartość absolutna ciśnienia będzie wykorzystywana do celów pomocniczych.

Reasumując, w celu przeprowadzenia symulacji CFD należy pobrać wartości ciśnień z programu VentGraph i przekazać je do programu Fluent a następnie pobrać z programu Fluent wartości wydatków i stężeń w przekrojach granicznych i przekazać je do programu VentGraph (patrz Rys. 1).

Wszystkie dane będą przekazywane przy pomocy plików danych, przy czym symulacja CFD w każdym jej cyklu po wykonaniu obliczeń będzie zapisywała wartości wydatków i stężeń na wlocie i wylocie. Te wartości będą w dalszej kolejności odczytywane poprzez program VentGraph z odpowiedniego pliku. Jednocześnie program VentGraph będzie miał specjalne procedury do wymiany danych z programem Fluent w których będą przekazywane wartości ciśnień na dolocie i wylocie.



Rys. 1. Schemat blokowy sposobu wspólnej pracy programów VentGraph i Fluent

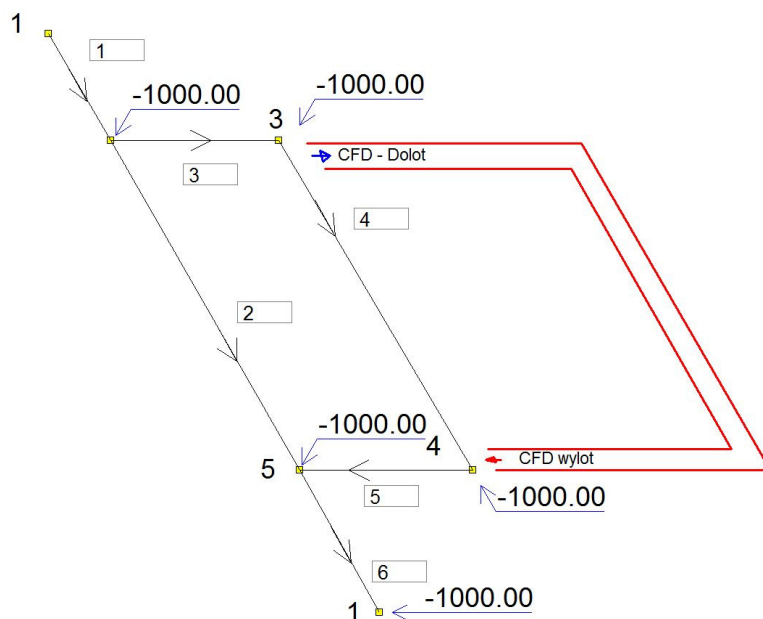
Przy współpracy pomiędzy dwoma programami nadrzędnym jest program Ventgraph, pisany w języku Delphi, który wykorzystuje procedurę Shell Execute, udostępnianą przez system Microsoft Windows. Funkcja ta będzie wykorzystywana do kontrolowania pracy programu Fluent. Służy ona do wywoływania zewnętrznego programu wraz z parametrami, określającymi: uruchamiany program, dodatkowe parametry sterujące ten program i katalog roboczy, z którego będzie on korzystał. Instrukcja ta może też wstrzymać pracę programu nadrzędnego (tu VentGraph-a) na czas realizacji zadania zleconego wywołanemu programowi (Fluent-owi).

W odpowiednim momencie program VentGraph wywoła program Fluent w tzw. trybie wsadowym w którym zostanie podana nazwa pliku zestawu komend sterujących, wraz z odpowiednimi parametrami w których będą potrzebne warunki brzegowe. Po wykonaniu cyklu obliczeń (odpowiadającemu jednemu krokowi czasowemu programu VentGraph – 10 s symulacji), program Fluent zapisze wartości stężeń i wydatku na wlocie i wylocie, które zostaną w dalszej kolejności pobrane przez program VentGraph.

Następnie program VentGraph realizuje kolejny krok czasowy, wyliczając nowe wartości ciśnień w źródle i upuszcie. Wartości te są potrzebne do zadania aktualnych warunków na wlocie i wylocie dla obszaru modelowanego metodą objętości skończonej. i pobierze następne wartości wydatków i stężeń dzięki czemu będzie możliwe wykonanie następnego kroku czasowego. W ten sposób, naprzemiennie będzie prowadzona symulacja. Do celów testowych zagadnienia został przygotowany program pozwalający na samoczynne generowanie plików sterujących bez uruchamiania programu Fluent.

3. Przykład modelowania przepływu w rejonie ściany z wykorzystaniem programów VentGraph i Fluent...

Wybrano fragment rejonu ściany złożony z przekopu, chodników podścianowego i nadścianowego oraz samej ściany (Rys. 2). Dokładniejszy opis zastosowano dla końcowego odcinka chodnika podścianowego, kanału ściany i początkowego chodnika nadścianowego. W ogólności możliwe byłoby rozpatrywanie modelu VentGraph-a dla całej pozostałej sieci wentylacyjnej kopalni.



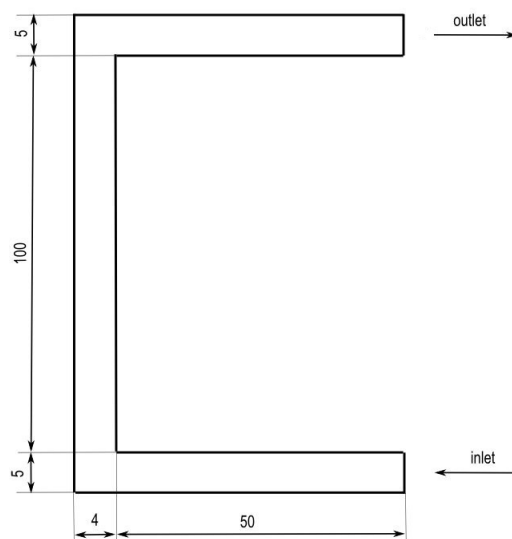
Rys. 2. Schemat obszaru obliczeniowego dla obu opisów – na czerwono dwuwymiarowy fragment rejonu ściany, obok schemat sieci dla programu VentGraph – w prostokątach numery bocznic a opisy węzłów przedstawiają koty niwelacyjne

3.1. Sformułowanie zadania dla metody objętości skończonej (program Fluent)

Do celów obliczeń z wykorzystaniem metody objętości skończonych przy wykorzystaniu programu Fluent zaprojektowano chodnik ścianowy z uwzględnieniem chodnika podścianowego oraz chodnika nadścianowego w systemie przewietrzania na U (Rys. 2).

Model o wymiarach:

1. szerokość
 - chodnik podścianowy – 5 m
 - chodnik ścianowy – 4 m
 - chodnik nadścianowy – 5 m
2. długość
 - chodnik podścianowy – 50 m
 - chodnik ścianowy – 100 m
 - chodnik nadścianowy – 50 m.



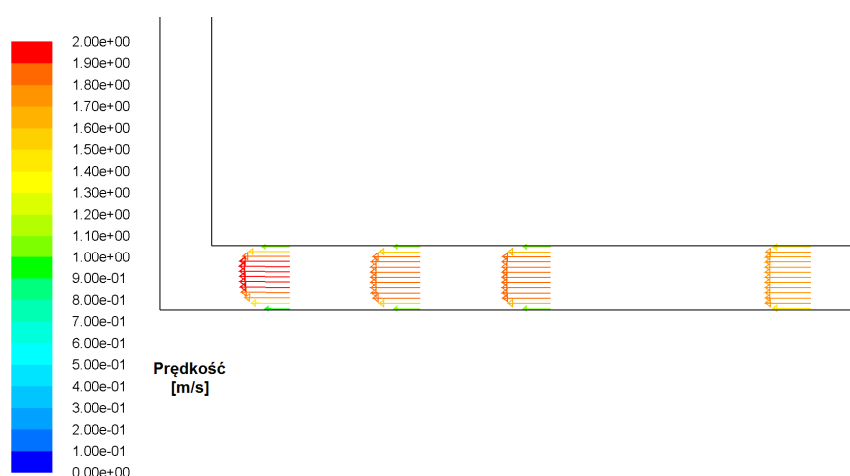
Rys. 3. Geometria obszaru obliczeniowego dla metody objętości skończonej (program Fluent)

W testowym przypadku model został zdyskretyzowany czworokątną siatką strukturalną (ang. *quad*), jednak w ogólności możliwe jest zastosowanie dowolnego rodzaju siatki.

Jako warunek brzegowy przyjęto różnice ciśnień na wlocie i wylocie (ang. *pressure inlet*, *pressure outlet*) o wartości 10 Pa, intensywność turbulencji rzędu 10%, natomiast ściany są traktowane jako chropowate o wymiarze nierówności wynoszącym 5 cm. Wszystkie obliczenia będą przeprowadzane dla przepływu nieustalonego wykorzystując model turbulencji $k-\varepsilon$.

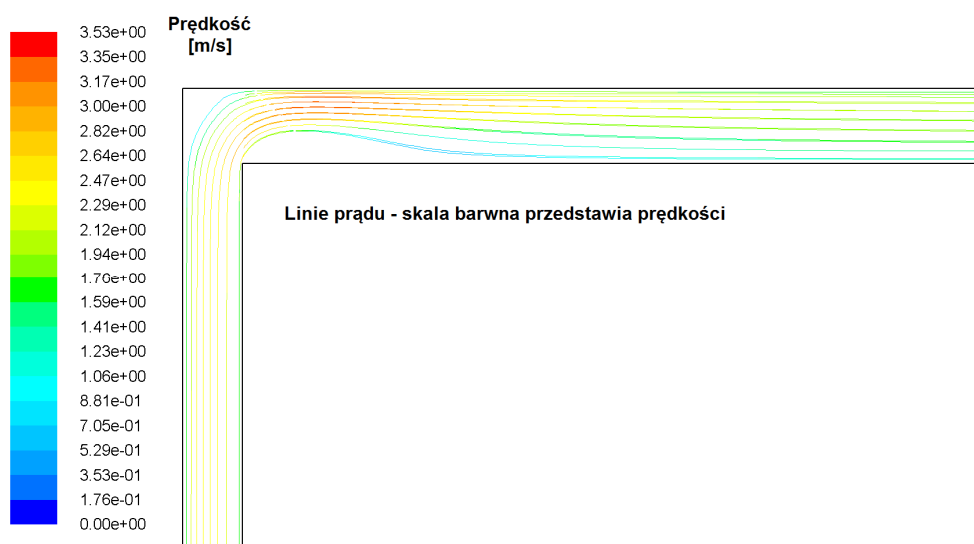
Obszar obliczeniowy CFD należy dobierać pod kontem minimalnym co do jego rozmiaru, co będzie skutkowało skróceniem czasu obliczeń numerycznych. Kierując się tą zasadą zostały podane kryteria dla doboru geometrii modelu CFD.

Na wlocie do obszaru rejonu ściany modelu obliczeniowego będzie zadawana wartość wydatku masowego w związku z czym długość odcinka chodnika podścianowego należy dobierać w odpowiedni sposób aby było możliwe pełne rozwinięcie się profilu zarówno w zakresie prędkości jak i intensywności turbulencji przed rejonem ściany. Przed skrzyżowaniem z chodnikiem podścianowym profile powinny być już w pełni rozwinięte (Rys. 4).



Rys. 4. Profile prędkości w chodniku podścianowym

Program VentGraph pobiera jedynie uśrednione wartości wydatku i stężenia metanu z wylotu obszaru obliczeniowego CFD, dlatego długość chodnika nadścianowego może być mniejsza. Jedynym kryterium dla długości początkowego odcinka chodnika nadścianowego jest zapewnienie, by w przekroju wylotowym nie



Rys. 5. Linie prądu w końcowym odcinku ściany i chodniku nadścianowym

dochodziło do recyrkulacji przepływu. W skrzyżowaniu ściany z chodnikiem nadścianowym są generowane wiry, spowodowane zmianą kierunku przepływu. Powodują one występowanie lokalnych odwróceń przepływu w początkowym odcinku chodnika nadścianowego. Jeżeli podczas obliczeń otrzymamy informację o lokalnych odwróceniach przepływu w przekroju wylotowym, to będzie świadczyć o dobraniu zbyt małej długości odcinka chodnika nadścianowego (Rys. 5).

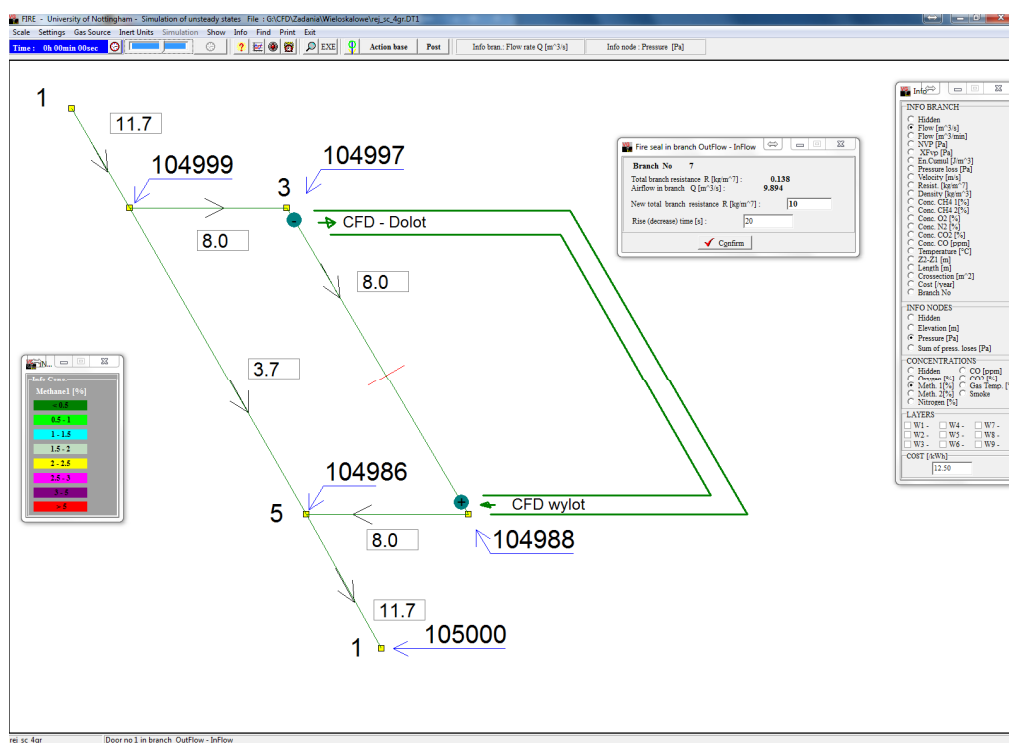
3.2. Sformułowanie zadania dla jednowymiarowego opisu (program VentGraph)

Dla testowania i analizy współpracy opisów obszar obliczeniowy programu VentGraph został ograniczony specjalnej sieci złożonej z kilku bocznic przyległych do ściany wydobywczej (Rys. 2). Obejmuje ona:

- odcinek przekopu (bocznica 1-2),
- początek chodnika podścianowego (bocznica 2-3),
- bocznice 3-4, która ma początkowo zastępować fragment rejonu ściany opisywany przy pomocy objętości skończonej
- końcowy odcinek chodnika nadścianowego (bocznica 4-5),
- fragment przekopu z tama zapewniającymi odpowiedni dopływ powietrza do ściany (bocznica 3-5)
- fragment przekopu prowadzący do wylotu rejonu (bocznica 5-1).

W sieci VentGraph-a w bocznicy 3-4 za przy węzłem 3 zostanie umieszczony upust (źródło ujemne) a przed węzłem 4 źródło. Wydajności (wydatki masowe) upustu i źródła będą równe wydatkom masowym na dolocie i wylocie obszaru modelowanego w programie Fluent. Podczas przygotowywania modelu jednowymiarowego ważny jest odpowiedni dobór oporu bocznicy pomiędzy źródłem a upustem (bocznicy 3-4), który dla wydatku płynącego przez ścianę powinien zapewniać spadek naporu równy stracie ciśnienia w modelu CFD. Również wszystkie parametry sieci VentGrapha tj. spiętrzenie wentylatora, rozłożenie oporów są tak dobrane aby wydatek dopływający do bocznicy 3-4 odpowiadał wydatkowi masowemu który jest na wlocie do obszaru modelowanego przez program Fluent.

Podczas symulacji należy sprowadzić przepływ w odcinka między źródłem i upustem do pomijalnie małej wartości. Ze względów praktycznych wymaga to jest płynnego zwiększenia oporu bocznicy między źródłem a upustem. W jednowymiarowej, zamkniętej sieci programu VentGraph jest konieczny przepływ w bocznicy 3-4, lecz upust powinien niemal pobrać cały wydatek który dopływa do węzła 3 i oddać do

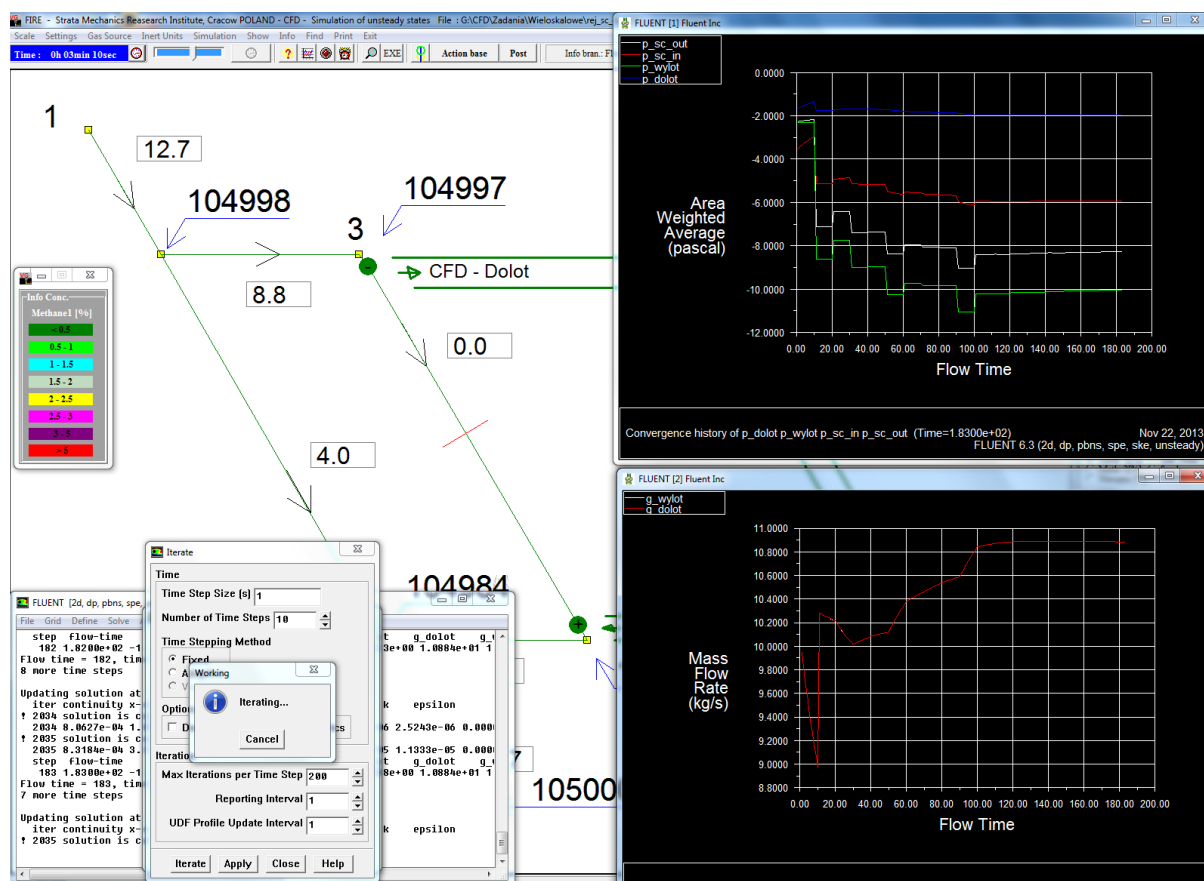


Rys. 6. Widok sieci przed rozpoczęciem symulacji Dla bocznicy źródło-upust jest zadawany stopniowy wzrost oporu

3.3. Przykład symulacji przepływu

Po naciśnięciu przycisku symulacja program VentGraph zmienia strukturę sieci, umieszczając w niej upust i źródło i wylicza początkowy rozpyływ w sieci. Przed pierwszym kokiem czasowym zaprogramowano wzrost oporu bocznicy łączącej upust ze źródłem (Rys. 6). Dla testowej wersji programu przycisk start powoduje wykonanie jednego kroku czasowego. Najpierw VentGraph wylicza rozwiązanie dla kolejnej chwili tj. 10 sekundy. Następnie jest uruchamiany program Fluent, odczytuje dane dla stanu początkowego i uruchamia symulację. Stan dla chwili 10s obliczany jest poprzez realizację dziesięciu jednosekundowych kroków czasowych. Następnie są zapisywane dane dla stanu końcowego. Dodatkowo w plikach, które na początku kolejnego kroku czasowego odczyta VentGraph są zapisywane wydatki i stężenia na dolocie i wylocie obszaru. Taka sekwencja działania programów jest realizowana w kolejnych krokach czasowych.

Pracę programu Fluent podczas kroku czasowego po trzech minutach symulacji przedstawia Rys. 7. W tle rysunku jest okno programu VentGraph. W lewym dolnym rogu widać główne okno programu Fluent



Rys. 7. Wspólna praca programów VentGraph i Fluent – obraz na monitorze w trakcie pracy Fluent-a w trybie wsadowym

z zapisem tekstowym stany symulacji oraz okna do kontroli przebiegu symulacji. Po prawej stronie widać dwa okna z zapisem zmienności ciśnień i wydatków w wybranych przekrojach obszaru modelowanego metodą objętości skończonej. Dla wydatków masowych są to dolot i wylot, dla ciśnień dodatkowo są monitorowane wlot i wylot ściany. Wielkości te są również zapisywane w plikach tekstowych. Niepełne dopasowanie oporu bocznicy upust-źródło powoduje gasnące oscylacje wydatków i ciśnień. Po mniej więcej trzech minutach współpraca programów staje się stabilna. O tego momentu można badać odpowiedź wieloskalowego modelu na ewentualne zaburzenia.

4. Modelowanie wieloskalowe z wykorzystaniem jednowymiarowego opisu przepływu mieszaniny gazów doskonałych i metody objętości skończonej

Zamiast modelu quasi-statycznego, używanego w programie ventgraph w analogiczny sposób do dwu lub trójwymiarowego opisu można dołączyć jednowymiarowy model nieustalonego przepływu powietrza kopalnianego (Krawczyk, 2007 i 2009). Model ten jest przeznaczony do symulacji stanów przejściowych w wielooczkowych sieciach wentylacyjnych. Powietrze kopalniane traktowane jest jako mieszanina suchych gazów doskonałych. Przepływ w bocznicach sieci opisują układy równań zachowania masy, pędu i energii. Analogiczne bilanse w węzłach są źródłem warunków brzegowych dla bocznic. Opis ten uwzględnia:

- bezwładność i ściśliwość mas powietrza poruszających się w sieci
- straty ciśnienia wskutek tarcia,
- lokalne opory, m. in. tamy wentylacyjne włącznie z efektami ich otwierania i zamykania
- wymianę ciepła z górotworem,
- oddziaływanie pola sił grawitacyjnych i wentylację naturalną,
- lokalne dopływy gazów, takich jak metan:
- ze źródeł o ustalonym wydatku
- o zaprogramowanej wydajności, przeznaczone do symulacji wyrzutu gazów
- propagację metanu w sieci wentylacyjnej

Rozwiązania układu równań obrazują, zgodnie z przybliżeniem jednowymiarowego przepływu rozkłady wielkości średnich dla przekroju poprzecznego bocznic: gęstości, temperatur, ciśnień i prędkości oraz stężeń metanu.

W opisie tym występuje również model źródła metanu. Jest on specyficznym węzłem sieci łączącym dwie bocznicę, w którym możliwy jest dodatkowy dopływ masy. W standardowej wersji programu wydatek masowy dopływu może być definiowany przez użytkownika. Dla symulacji wpływu wyrzutu (Krawczyk, 2010) był on zadawany w formie zależności funkcyjnej. W przypadku współpracy z programem Fluent będzie on zdawany zgodnie z wynikami symulacji dla metody objętości skończonej. Podobnie jak dla VentGraph-a ciśnienia wyliczone przez model jednowymiarowy będą zadawane w przekrojach granicznych obszaru opisywanego dokładniejszą metodą.

5. Podsumowanie

W niniejszym opracowaniu przedstawiono metodę symulacji przepływu w rejonie ściany z wykorzystaniem wspólnej pracy programów VentGraph i Fluent. Polega ona na współbieżnej symulacji niestacjonarnych przepływów, w której w kolejnych krokach czasowych programy symulacyjne wymieniają ze sobą dane, aktualizując warunki brzegowe w strefach łączących podobszar wymagający dokładniejszego opisu z pozostałą częścią sieci. Metoda ta ma zastosowanie zarówno dla jednowymiarowego quasi statycznego opisu użytego w programie Ventgraph jaki dla pełniejszego jednowymiarowego opisu przepływu mieszaniny gazów doskonałych. Opracowano zestaw procedur do sterowania programem Fluent i wymiany danych między jednowymiarowym i opisem programem Fluent. Przygotowano również specjalną wersję programu Ventgraph, która współpracuje z oprogramowaniem do symulacji metodą objętości skończonej. Podano przykład zastosowania metody dla rejonu ściany wydobywczej.

Wieloskalowe formułowanie zagadnień obliczeniowych może stanowić optymalne podejście do modelowania przepływów w rozległych i złożonych obiektach, jakimi są kopalniane sieci wentylacyjne. Celem

tej optymalizacji byłby najdokładniejszy opis badanych zjawisk przepływowych przy ograniczeniach co do wydajności dostępnych systemów komputerowych a także nakładu czasu i pracy koniecznej do sformułowania zagadnienia i przeprowadzenia symulacji.

Praca została wykonana w roku 2013 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- Colella F., Rein G., Borchellini R., Torero J.L., 2010. *A Novel Multiscale Methodology for Simulating Tunnel Ventilation Flows During Fires*, Fire Technology DOI: 10.1007/s10694-010-0144-2
- Dziurzyński W., Pałka T., Krawczyk J., 2013. *Ventgraph for Windows - Ventilation engineer's program system for analyzing the ventilation network under normal and emergency conditions - Simulation of transient flow of air and fire gases – User Guide* Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, seria: Podręczniki, s. 100.
- Krawczyk J., 2010. *Symulacja komputerowa zaburzeń przepływu w rejonie ściany wywołanych przez wyrzut gazów i inne przyczyny*. Przegląd Górniczy, Nr 5 (10150), s. 17-23.
- Krawczyk J., Janus J., Ostrogórski P., 2012. *Wybrane aspekty metodyki tworzenia wieloskalowych modeli numerycznych rejonu ściany*. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, Vol. 14, No. 1-4, s.139-148.

Multi-scale modelling of flows in the longwall regions – selected aspects

Abstract

Ventilation networks in deep mines are too large and complex to enable the simulation of the entire object by the finite volume method, moreover present day computers are not powerful enough, so selected sections of the network have to be modelled instead. In the case of stationary processes, the omitted regions can be replaced by boundary conditions. During the transients, however, dynamic properties of the omitted portions of the network may strongly influence the flow processes. In a solution presented here certain sub-regions of the network are determined, which require the most accurate description. This sub-region can be modelled by the finite volume method, using a 2D or 3D model. The remaining part of the ventilation network is modelled by a simple, 1D model so the entire network can be represented or its selected fragment only. The method was developed that enables concurrent simulation of non-stationary flows, enabling the data exchange between the simulation programs in the subsequent time steps to update the boundary conditions in zones connecting the sub-region requiring the most accurate description and the remaining parts of the ventilation network. This method is well applicable both to 1D quasi-static description used in the Ventgraph software and to a fuller 1D flow model of a mixture of ideal gases. The new version of the Ventgraph program was developed, which interacts with the finite volume simulation software. The method is then applied to investigation of the ventilation conditions in a longwall region. The finite volume method is applied to handle the final section of the maingate, the lonwall and the inlet section of the tailgate. The remaining parts of the longwall region are described by a 1D model.

Keywords: CFD, multi-scale modelling, mine ventilation, transients