

Tomasz Siuda
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Możliwości wykorzystania programu FLUENT w pracach realizowanych w Instytucie Nafty i Gazu

Wstęp

Program FLUENT stanowi obszerne narzędzie numerycznej analizy zjawisk przepływów jedno- i wielofazowych, w powiązaniu z wymianą masy i ciepła oraz reakcjami chemicznymi [1]. Aby móc właściwie wykorzystać wyniki numerycznej analizy danego zagadnienia należy potwierdzić zgodność modelu symulacyjnego z warunkami rzeczywistymi. Odbywa się to poprzez porównanie wielkości zmierzonych doświadczalnie, z wielkościami fizycznymi podanymi przez program. Niestety, nigdy nie jest tak, że przy symulacji zagadnienia można uwzględnić wszystkie zmienne, które występują w realnych warunkach pomiarowych, dlatego też symulacja wymaga zastosowania modelu, który przebieg zjawiska lub procesu przedstawia w sposób uproszczony. Oczywiście najlepsza sytuacja jest wówczas, gdy model bierze pod uwagę jak największą ilość zmiennych procesowych, ale w rzeczywistości jest to kompromisem pomiędzy stopniem odwzorowania, dokładnością wyników oraz potrzebnym do obliczeń czasem. W przypadku, gdy wyniki symulacji wykazują dużą zgodność ze stanem faktycznym można iść o krok dalej i dokonywać modyfikacji wielkości parametrów wejściowych (zmiana geometrii modelu lub warunków brzegowych) otrzymując nowe dane wyjściowe, o dużej wiarygodności.

W niniejszej pracy przedstawiono kilka możliwości zastosowania oprogramowania FLUENT w pracach realizowanych w Zakładzie Użytkowania Paliw Instytutu Nafty i Gazu. Jego wykorzystanie może dotyczyć np. problematyki związanej z wymiennością paliw gazowych (symulacja pracy palników inżektorowych, wpływ różnego rodzaju gazów i ciśnienia zasilania przed palnikiem na zassanie powietrza pierwotnego – określenie zachowania się tego typu palników w chwili użytkowania innych rodzajów gazów). Inny sposób wyko-

rzystania możliwości programu dotyczy badań wielkości oporów przepływu spalin dla systemów kominowych. W pracy zaprezentowano także symulację działania przerywacza ciągu, w zależności od wysokości komina. W powiązaniu z naporem wiatru na wylot komina, model może opisywać zjawisko cofania się spalin do pomieszczeń mieszkalnych (poprawa bezpieczeństwa użytkowników gazu). Dalszy rozwój modelu powinien dotyczyć rozbudowy przestrzeni symulacji tak, aby w obliczeniach numerycznych – oprócz przerywacza ciągu i przewodu spalinowego – pojawił się zespół palnikowy i wymiennik ciepła. Problemem może być zbyt wysoka różnica gabarytów poszczególnych elementów, która wymaga dużych gradientów zagęszczenia siatki i wydłuża czas obliczeń. Podobne tematy z tego zakresu to: wpływ nieszczelności komina na siłę ciągu kominowego, straty ciepłe w kominie, rozkłady temperatury itp.

Jeśli natomiast chodzi o możliwości zastosowania programu FLUENT w gazownictwie, to obejmuje ono: określanie wielkości wypływu gazu przez uszkodzone fragmenty gazociągu, analizę zjawiska wychładzania gazu podczas rozprężania (redukcyjne stacje gazowe), poprawę działania przyrządów pomiarowych w stacjach gazowych – poprzez właściwą lokalizację w stosunku do elementów powodujących zaburzenia przepływu (np. kolanko, trójnik), wpływ krzywizny i średnicy gazociągu na wielkość turbulencji, symulację pracy PMG itp.

Inne przykłady prac realizowanych przez programu FLUENT to m.in.: modelowanie spalania pyłu węglowego, radiacyjny transport ciepła w piecach przemysłowych, analiza procesu spalania metanu w powietrzu, optymalizacja chłodzenia, model cyklonu, analiza przepływu zanieczyszczeń powietrza, wyznaczanie charakterystyk

aerodynamicznych wentylatorów (maszyny wirnikowe), modelowanie zaworów, modelowanie procesu przewietrzania, modelowanie procesu mieszania (mieszalniki),

modelowanie fazy rozproszonej (cząstki stałe, krople, pęcherze), przepływy w warstwie porowatej, filtracja, fluidyzacja, kataliza, układy typu gaz-ciecz-ciało stałe itp.

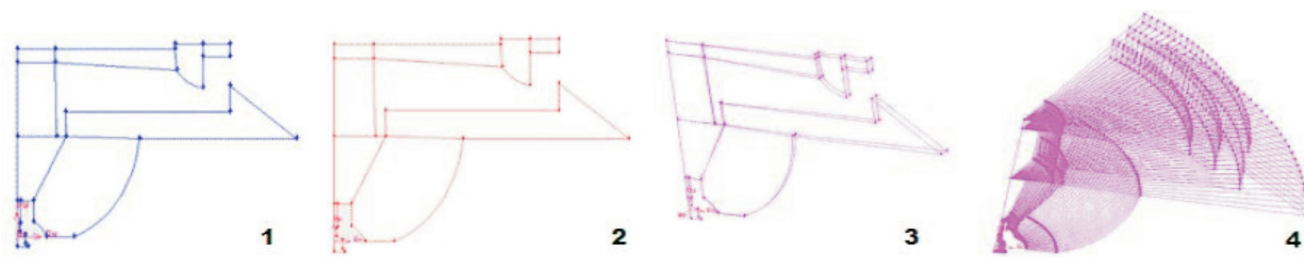
Charakterystyka pakietu CFD FLUENT

FLUENT należy do rodziny oprogramowania typu CFD (*Computational Fluid Dynamics* – z ang. „numeryczna dynamika płynów”) i bazuje na wykorzystaniu metody objętości skończonych. Przed przystąpieniem do obliczeń numerycznych w programie FLUENT należy utworzyć geometrię modelu w programie GAMBIT [2]. Na model składa się bryła geometryczna (przestrzeń symulacyjna) oraz warunki brzegowe. W zależności od problemu, tworzy się płaskie obiekty symulacyjne 2D lub przestrzenne 3D.

Na rysunku 1 zaprezentowano przykład etapów tworzenia modelu palnika niskociśnieniowego. W pierwszym etapie dążono do uzyskania płaskiego modelu krawędziowego, który odpowiadał połowie przekroju palnika. W tym celu, w układzie kartezjańskim zadano położenie wszystkich charakterystycznych punktów, a następnie je ze sobą połączono.

element (komórka) większej całości – jaką jest geometria modelu – stanowi przestrzeń bilansowania przepływu masy i ciepła, według równań zachowania masy, pędu i energii. Siatka stanowi jeden z ważniejszych elementów budowy modelu, gdyż jej gęstość oraz gradient określa dokładność obliczeniową i czas, po którym dochodzi do rozwiązania. Siatka powinna być najgęstsza w tych miejscach, gdzie będzie dochodzić do wymiany masy, ciepła, ruchów turbulentnych, nagłych zmian kierunku przepływu strumieni itp.

Po wygenerowaniu siatki należy zdefiniować powierzchnie wlotu mediów, ścianki modelu oraz przestrzeń dostępną dla płynów (*fluid*). W ostatnim etapie pracy z programem GAMBIT należy wyeksportować siatkę do programu FLUENT, w pliku z rozszerzeniem *.msh. W przypadku



Rys. 1. Etapy tworzenia modelu palnika niskociśnieniowego

W etapie drugim utworzono powierzchnie; etap trzeci to obrót powierzchni o zadany kąt względem zdefiniowanej osi odniesienia, a etap czwarty to kopiowanie geometrii z etapu trzeciego. Uformowanie otworów wypływowych nastąpiło po połączeniu określonych objętości. Dla tego przypadku (obiekt posiadający płaszczyznę symetrii) do obliczeń numerycznych można zastosować pewien wycinek palnika o określonym kącie rozwarcia [1] – wówczas program poda wyniki (wielkość przepływających strumieni gazu i powietrza), które będą proporcjonalne do udziału objętościowego wycinka do całej figury.

GAMBIT (tzw. preprocessor) służy także do [6]:

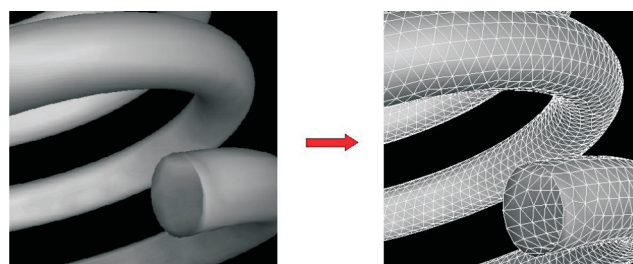
- generacji siatki,
- przypisania typów warunków brzegowych (*.dbs),
- wyeksportowania siatki (*.msh).

Generacja siatki polega na dyskretyzacji modelu, czyli jego podziale na elementy (rysunek 2). Każdy pojedynczy

błędny wykonania siatki program nie utworzy pliku roboczego.

Do właściwych obliczeń numerycznych dochodzi w programie FLUENT, który jest tzw. procesorem (określenie materiałów oraz warunków brzegowych, przeprowadzenie obliczeń) i postprocesorem (uzyskanie obrazów pól temperatur, ciśnień i prędkości).

W pierwszym kroku pracy z programem FLUENT



Rys. 2. Dyskretyzacja modelu [5]

należy wczytać siatkę numeryczną utworzoną w programie GAMBIT, poprzez plik z rozszerzeniem *.msh. Po sprawdzeniu wykonania siatki, poleceniem *Grid > Check* należy przeskalować jednostkę. Dalej, w zależności od konkretnego zadania, należy [5]:

- wybrać odpowiedni model zjawiska (*Models* – turbulencja, spalanie, przepływy wielofazowe),
- zdefiniować własności materiałowe (*Materials* – płyn, ciało stałe, mieszanina),
- ustawić warunki otoczenia (*Operating conditions*),
- ustawić warunki brzegowe (*Boundary conditions*),
- ustawić inicjalizację (*Initialize*),
- ustawić solver (*Controls solution*),
- ustawić monitory (*Controls monitors*).

Wybór modelu jest kluczową sprawą na drodze do rozwiązania problemu. Wracając do przykładu palnika niskociśnieniowego, w którym odbywa się zasysanie powietrza i mieszanie z gazem wypływającym z dyszy – tylko zastosowanie modelu z mieszaniem pozwala na właściwe odwzorowanie tego zjawiska.

Następnie definiuje się własności materiałowe, poprzez podanie konkretnych rodzajów mediów, które wypełniają przestrzeń modelu lub tworzą przepływy. W przypadku ścianek modelu istnieje możliwość przypisania konkretnych wartości temperatury, strumienia przenikającego ciepła lub właściwości radiacyjnych.

Nie bez znaczenia są ustawienia dotyczące warunków otoczenia. Przykładowo, przy obliczaniu wielkości siły

ciągu naturalnego w kominie należy uwzględnić wartość stałej grawitacji – bez tego nie istniałoby zjawisko wyporu, z powodu różnej gęstości płynów. W podobny sposób można rozpatrywać symulację zmian ciśnienia w gazociągu, przy różnej gęstości gazu i wysokości gazociągu w stosunku do położenia odniesienia. Stosowanie gazów lżejszych od powietrza powoduje zjawisko odzysku ciśnienia, zaś gazów cięższych od powietrza – dodatkowy spadek ciśnienia (wzrost wysokości prowadzenia gazociągu). Są również przypadki, gdy wartość stałej grawitacji praktycznie nie wpływa na przebieg zjawiska (przykładem może być przepływ przez wspomniany już palnik, kiedy różnica wysokości jest na tyle mała, że można ją pominąć).

Warunki brzegowe dostarczają solverowi informacji o wartościach zmiennych na brzegach obszaru obliczeniowego. Typ wprowadzanych danych zależy od wybranych rodzajów warunków brzegowych [5]; nie zawsze możliwe jest łączenie ze sobą wszystkich warunków brzegowych, a ponadto warunki te należy ustalać pod kątem danych i szukanych wielkości fizycznych.

Inicjalizacja powoduje wstawienie wprowadzonych wartości w pola warunków brzegowych. Iteracyjne rozwiązanie wymaga inicjalizacji wszystkich zmiennych [5].

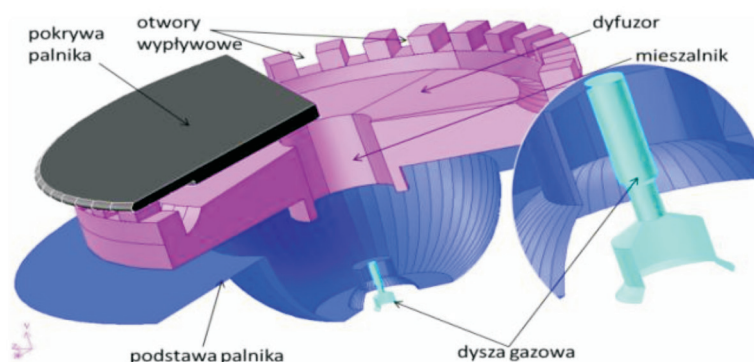
Ustawienia solvera dotyczą m.in. ustalenia tolerancji dla rozwiązania równań zachowania masy, pędu i energii dla elementarnej komórki – tak, aby całkowity bilans był spełniony. W czasie rozwiązania iteracyjnego można kontrolować zbieżność procesu.

Możliwości zastosowania programu FLUENT w pracach prowadzonych w Zakładzie Użytkowania Paliw Instytutu Nafty i Gazu

Badanie wymienności paliw gazowych

Aby paliwa gazowe uznać za wymienne względem siebie musi zostać spełniony szereg warunków (kryteria wymienności paliw gazowych); jednym z nich jest zachowanie właściwego zassania powietrza pierwotnego przez palnik. Symulacja numeryczna za pomocą programu FLUENT pomogła w ustaleniu wpływu rodzaju gazu i ciśnienia zasilania na wielkość zassania powietrza pierwotnego w palniku inżekcyjnym (w który wyposażona jest większość urządzeń gazowych domowego użytku). Ma to duże znaczenie, gdyż zawartość powietrza w mieszance palnikowej w wysokim stopniu odpowiada za jakość spalania. W toku analizy numerycznej uzyskano szereg obrazów przed-

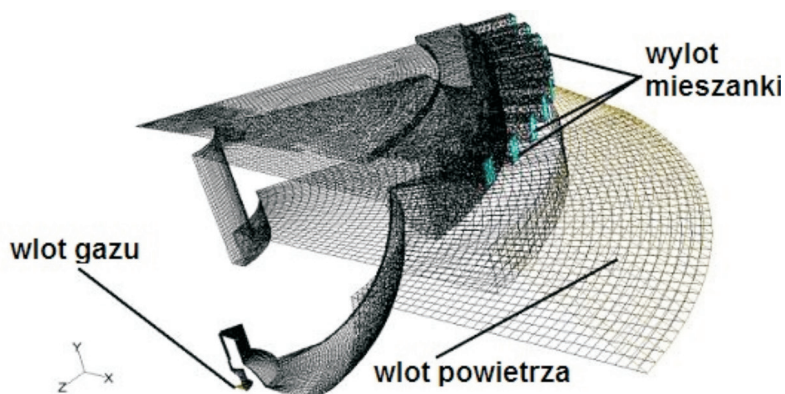
stawiających przepływ gazu i powietrza. Przedmiotem symulacji była także ocena wpływu zmian konstrukcji palnika (ograniczenie liczby otworów wypływowych) na skład wytwarzanej w nim mieszanki.



Rys. 3. Schemat budowy badanego palnika kuchni gazowej

Do budowy modelu, dokonanej w programie GAMBIT (rysunek 3), wykorzystano ciśnieniowe warunki brzegowe: ciśnienie gazu na wlocie do dyszy (przyjmowane 10, 15, 20, 25 i 30 mbar) oraz ciśnienie na wlocie i wylocie z palnika (przyjmowane jako równe ciśnieniu otoczenia). Analizy pracy dokonano na wycinku palnika o kącie rozwarcia 60° (rysunek 4). Na rysunku zaznaczono wlot powietrza pierwotnego, wlot gazu oraz wylot mieszanki.

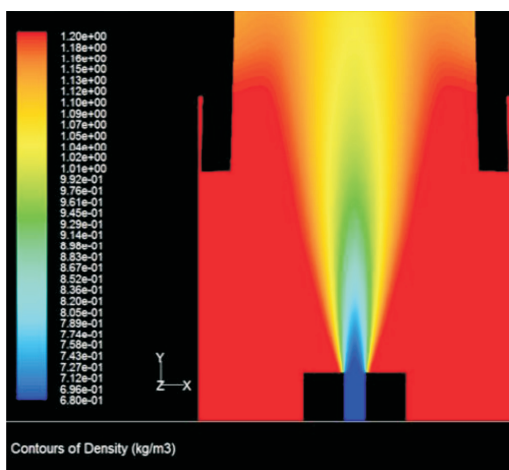
Uzyskano dużą zbieżność krzywych doświadczalnych i symulacyjnych stężenia powietrza w mieszance palnikowej, w zależności od wielkości dodatku propanu do gazu ziemnego oraz ciśnienia zasilania. Należy jednak podkreślić, że aby uzyskać odpowiedni stopień zgodności danych symulowano możliwe rozkłady



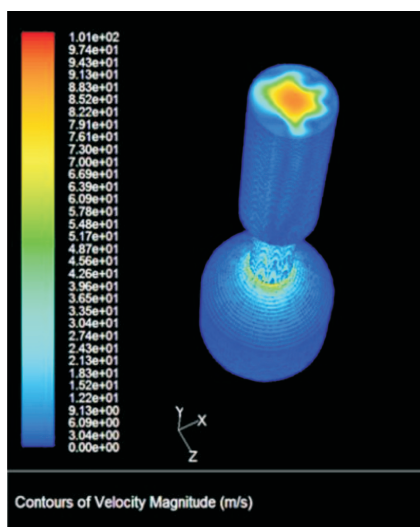
Rys. 4. Model symulacyjny badanego palnika kuchni gazowej

temperatury w palniku i wpływ jego obciążenia cieplnego na temperaturę powietrza wlotowego.

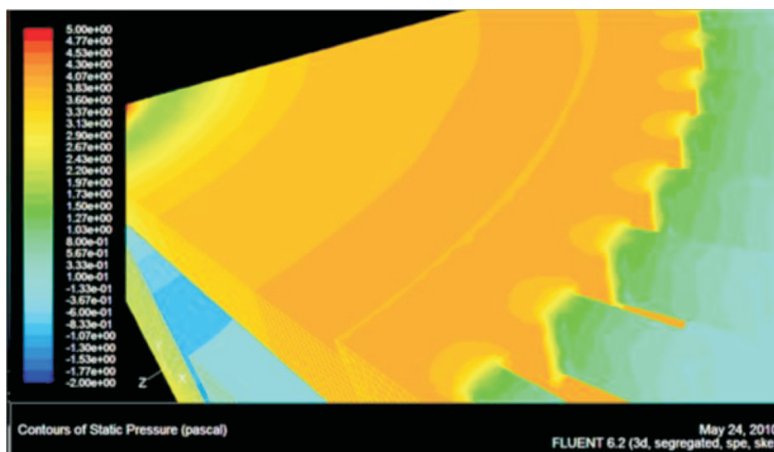
Model pozwolił wyjaśnić tendencje jakie pojawiają się w momencie użytkowania nowych gazów. Po rozszerzeniu środowiska symulacji o przestrzeń formowania się płomienia i uwzględnieniu kinetyki reakcji spalania gazu, model może przewidywać wielkość emisji CO z konkretnego palnika. Badania symulacyjne dowodzą również istotnego wpływu konstrukcji palnika na wielkość zassania powietrza. Na bazie symulacji – oprócz określenia udziałów gazu i powietrza w utworzonej mieszance – możliwe jest także wyznaczenie pól szybkości, ciśnienia, gęstości itp. (wraz z nowymi danymi wejściowymi) oraz dynamiczna wizualizacja przepływu strumienia gazu od momentu rozruchu palnika [4]. Na rysunku 5 zaprezentowano przykładowy obraz pola gęstości przy wypływie gazu 2E z dyszy, przy stałej temperaturze gazu i powietrza – równej 20°C. Na rysunku 6 zaprezentowano obraz pola szybkości dla dyszy gazowej dla gazu 2E, podawanego pod ciśnieniem 3000 Pa



Rys. 5. Obraz pola gęstości przy wypływie gazu 2E z dyszy, przy stałej temperaturze gazu i powietrza – równej 20°C



Rys. 6. Obraz pola szybkości dla dyszy gazowej dla gazu 2E, podawanego pod ciśnieniem 3000 Pa

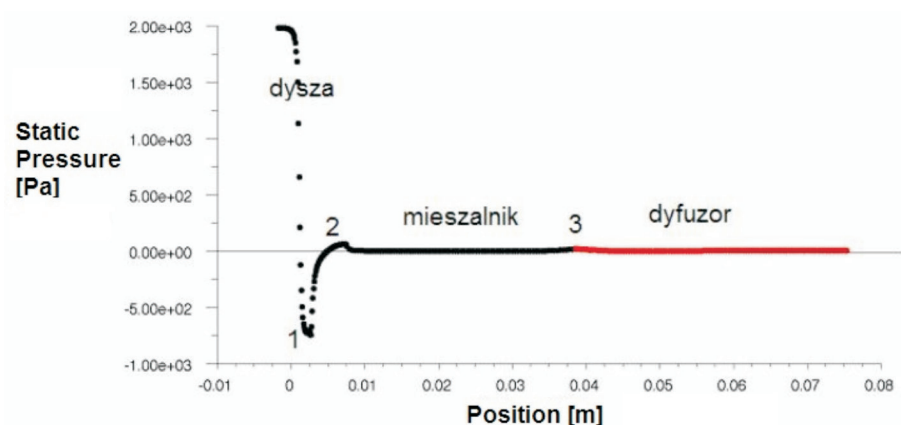


Rys. 7. Przykładowy rozkład ciśnienia statycznego w obrębie wypływu mieszaniny gazowo-powietrznej z palnika

Oprócz typowej wizualizacji przebiegu zjawisk, program umożliwia kreślenie wykresów zawierających rozkłady danej wielkości fizycznej wzdłuż określonej linii [1]. Na rysunkach 8 i 9 pokazano przykład rozkładu ciśnienia statycznego dla badanego palnika kuchni gazowej wzdłuż drogi przepływu gazu: dysza-mieszalnik-dyfuzor – z tym, że rysunek 9 przedstawia bardziej szczegółowo wielkość

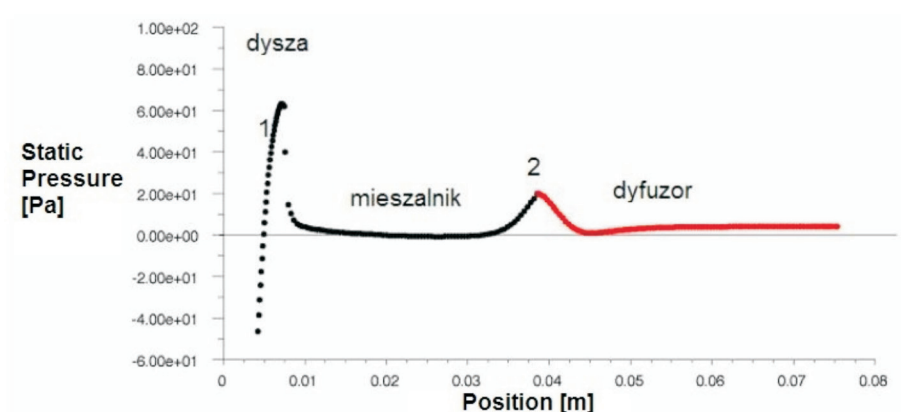
ciśnienia na odcinku od wylotu dyszy do dyfuzora. Pik ciśnienia pomiędzy mieszalnikiem a dyfuzorem wynika z nagłej zmiany kierunku przepływu gazu, który zderza się z pokrywą palnika – częściowa zamiana ciśnienia dynamicznego na statyczne (tzw. spiętrzenie).

Na rysunku 10 zaprezentowano rozkład ułamka molowego tlenu, azotu i metanu wzdłuż osi przepływu gazu



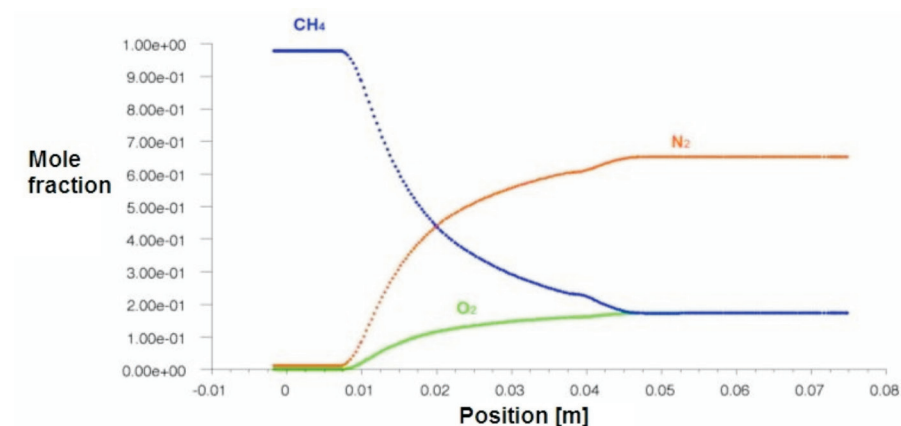
Rys. 8. Rozkład ciśnienia statycznego w palniku na drodze: dysza-mieszalnik-dyfuzor

1 – przewężenie dyszy, 2 – wylot dyszy, 3 – pokrywa palnika

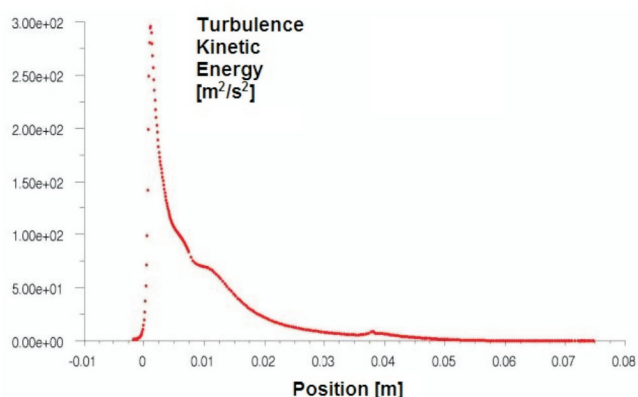


Rys. 9. Rozkład ciśnienia statycznego w palniku na drodze: dysza-mieszalnik-dyfuzor

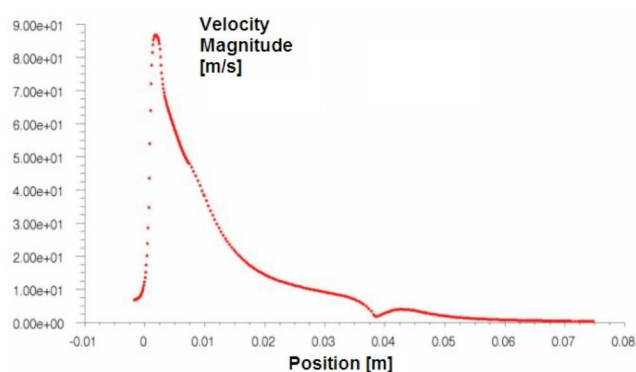
1 – wylot z dyszy, 2 – pokrywa palnika



Rys. 10. Przykładowy rozkład ułamka molowego tlenu, azotu i metanu wzdłuż osi przepływu gazu w palniku



Rys. 11. Przykładowy rozkład energii kinetycznej turbulencji wzdłuż drogi przepływu gazu



Rys. 12. Przykładowy rozkład szybkości przepływu gazu

w palniku. Z wykresu widać, że całkowite zmieszanie się gazu z zassanym powietrzem następuje w początkowej strefie dyfuzora.

Na rysunkach 11 i 12 zaprezentowano odpowiednio: rozkład energii kinetycznej turbulencji oraz rozkład szybkości przepływu gazu.

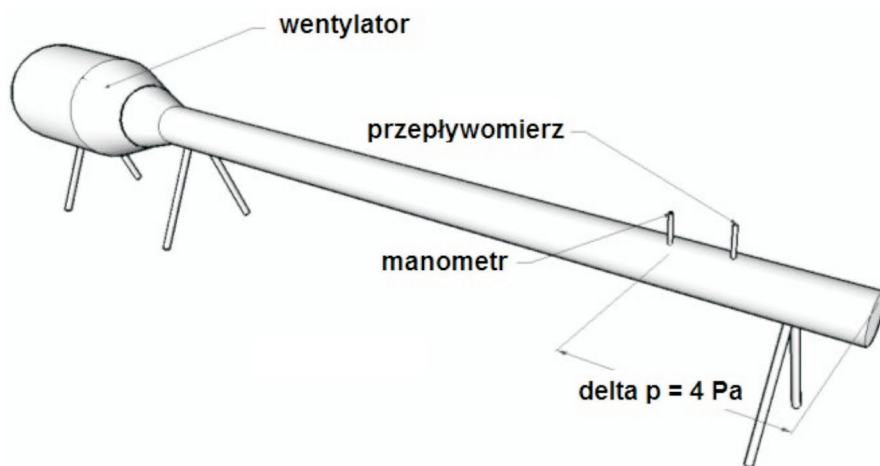
Wyznaczanie oporów miejscowych

Program FLUENT może posłużyć również do wyznaczania współczynnika oporów miejscowych dla fragmentów systemu kominowego – typu trójniki, zwężki itp. W warunkach laboratoryjnych pomiar polega na zbadaniu wielkości spadku ciśnienia na danym elemencie przy założonej wielkości przepływu powietrza, którą ustala norma [3], w zależności od średnicy badanego elementu oraz przewidzianej temperatury spalin. Znajomość współczynnika oporów miejscowych służy wyznaczeniu wielkości spadku ciśnienia na całej długości traktu spalinowego. Porównanie wielkości spadku ciśnienia (przy założonym przepływie spalin) z siłą ciągu, która wystąpi w kominie pozwala projektantowi instalacji kominowej ustalić dopuszczalne średnice przewodów, ich długość oraz maksymalną ilość kolanek. Wielkość spadku ciśnienia bada się na stanowisku przedstawionym na rysunku 13. Wyposażenie stanowiska stanowi wentylator, rurociąg, manometr oraz przepływomierz. W pierwszym etapie badania sprawdza się wielkość spadku ciśnienia, która wystąpi na odcinku od manometru

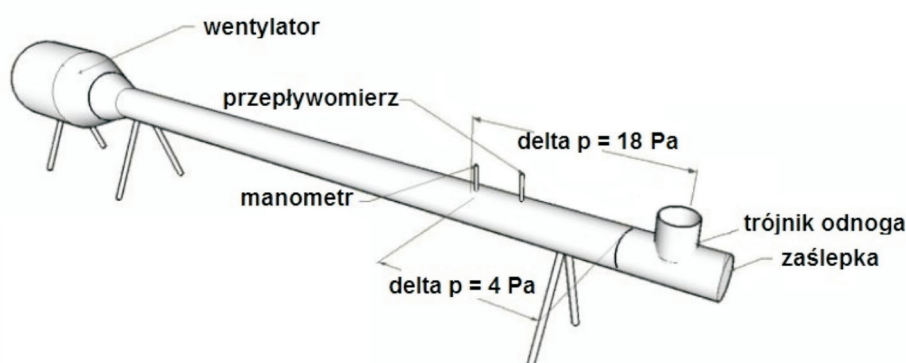
do końca króćca wylotowego rurociągu, gdzie panuje ciśnienie równe ciśnieniu otoczenia (rysunek 13). Dlatego też wartość nadciśnienia wskazanego przez manometr jest równa spadkowi ciśnienia na tym odcinku.

Wielkość spadku ciśnienia na trójniku bada się na dwa sposoby: badanie jako trójnik-odnoga (gdy koniec trójnika jest zaślepiony, a wylot trójnika tworzy płaszczyznę prostopadłą do płaszczyzny jego wlotu) lub jako trójnik-przelot (gdy płaszczyzny wylotu i wlotu trójnika są do siebie równoległe).

Badanie wykonano jako trójnik-odnoga. Po dołączeniu trójnika sprawdzono wielkość spadku ciśnienia na odcinku od manometru do wylotu, przy tej samej prędkości przepływu powietrza – rysunek 14 (wartość ciśnienia na manometrze po dołączeniu trójnika to spadek ciśnienia na odcinku od manometru do wylotu trójnika). Różnica ciśnień na manometrze w badaniu z trójnikiem i bez trójnika to wielkość spadku ciśnienia na trójniku. Według odpowiedniego wzoru (będącego przekształceniem wzoru



Rys. 13. Pomiar wielkości spadku ciśnienia na odcinku od manometru do końca wylotu rurociągu



Rys. 14. Pomiar wielkości spadku ciśnienia na odcinku od manometru do wylotu trójnika typu „odnoga”

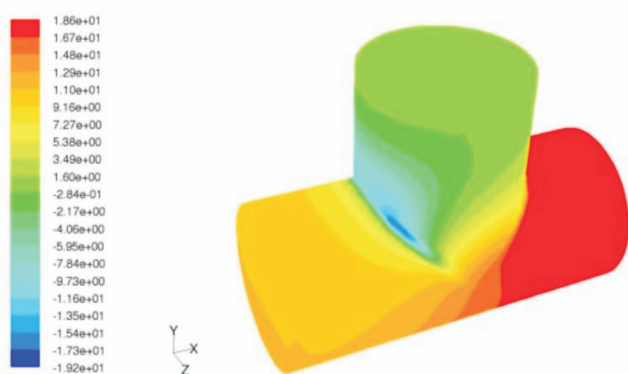
na wielkość spadku ciśnienia dla oporów miejscowych) oblicza się współczynnik oporów miejscowych. Na rysunku 15 zaprezentowano rzeczywisty widok badanego trójnika oraz widok siatki obliczeniowej.



Rys. 15. Trójnik – widok rzeczywisty i siatka utworzona w programie GAMBIT

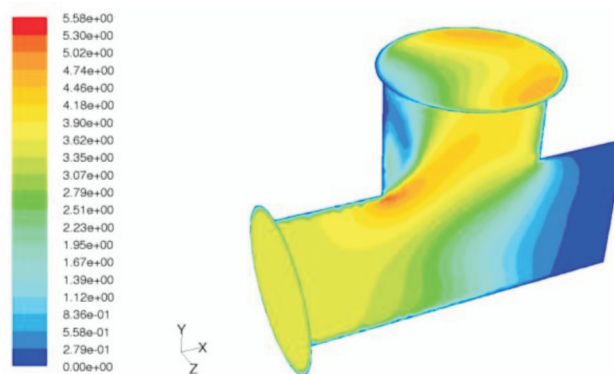
brzegowych pozwala wyznaczyć wielkość spadku ciśnienia, którą należy rozumieć jako różnicę ciśnień na wlocie do trójnika i jego wylocie.

Z rysunku 16 można odczytać wielkość spadku ciśnienia na danym elemencie (na zasadzie różnicy ciśnień statycznych między wlotem a wylotem z trójnika); wyniosła ona około 12 Pa (wynik doświadczalny to 14 Pa), co wskazuje na możliwość zastosowania badań numerycznych. Uzyskaną różnicę można tłumaczyć niedokładnością przyrządów pomiarowych, idealizacją geometryczną modelu oraz faktem, że przyjęty rozkład prędkości w przekroju dolotowym jest równomierny na całej powierzchni (rysunek 17).



Contours of Static Pressure [Pa]

Rys. 16. Rozkład ciśnienia statycznego dla badanego trójnika



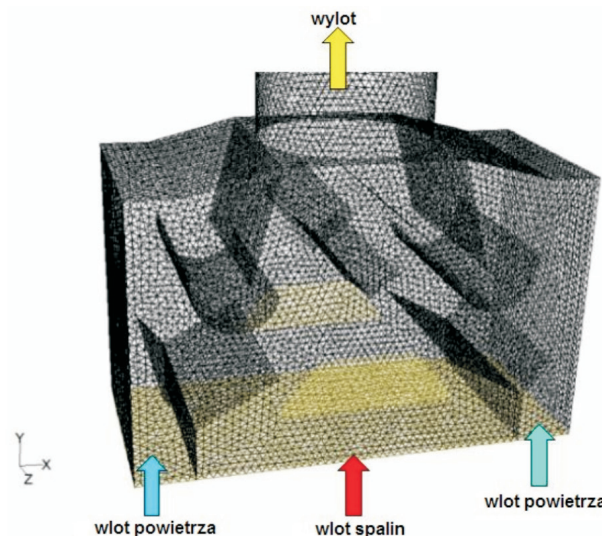
Contours of Velocity Magnitude [m/s]

Rys. 17. Obraz pola prędkości dla badanego trójnika

Analiza pracy przerywacza ciągu

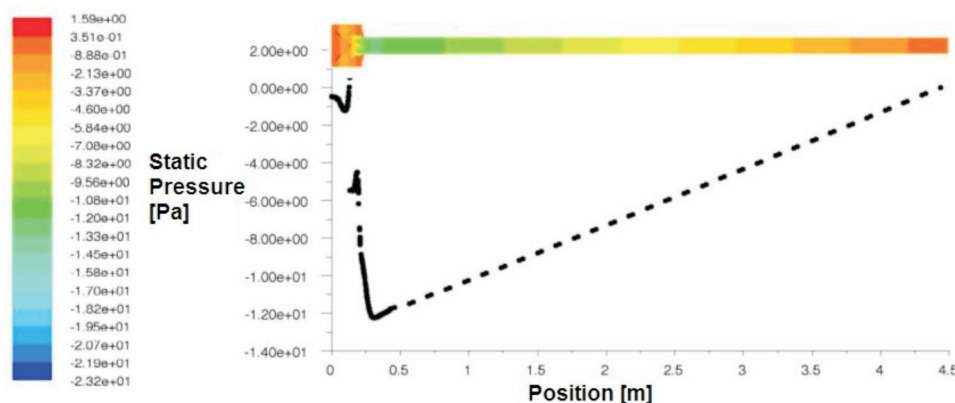
Przerywacz ciągu to urządzenie umieszczane na drodze spalin pomiędzy wymiennikiem ciepła, a przewodem spalinowym. Zadaniem przerywacza ciągu jest stabilizacja procesu spalania – ograniczanie zbyt dużej siły ciągu kominowego. Proponowany model symulacyjny (rysunek 18) obejmuje przerywacz ciągu i komin. Porównano pracę przerywacza ciągu w trzech różnych wariantach, tj.: bez komin oraz z kominem o wysokości 2 i 4 m.

Przedstawiony model symuluje powstawanie siły ciągu kominowego oraz przedstawia odpływ spalin przez komin, a także zasysanie powietrza w przerywaczu ciągu. Zassane powietrze w przerywaczu ciągu tworzy mieszaninę ze spalinami, ochładza je i powoduje obniżenie wielkości podciśnienia w kominie. Na rysunku 19 przedstawiono rozkład ciśnienia statycznego dla przerywacza ciągu i komin o wysokości 4 m. Liniowy rozkład podciśnienia w kominie wynika z faktu, że po zmieszaniu strumienia spalin i powietrza ustala się stała temperatura na całej długości komin (model nie uwzględnia ochładzania się spalin w kominie).

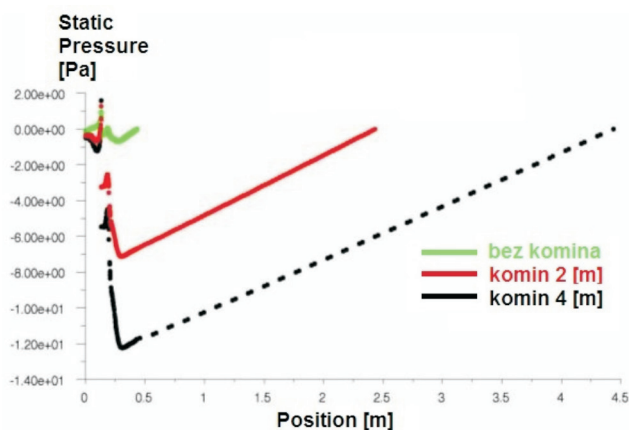


Rys. 18. Model przerywacza ciągu

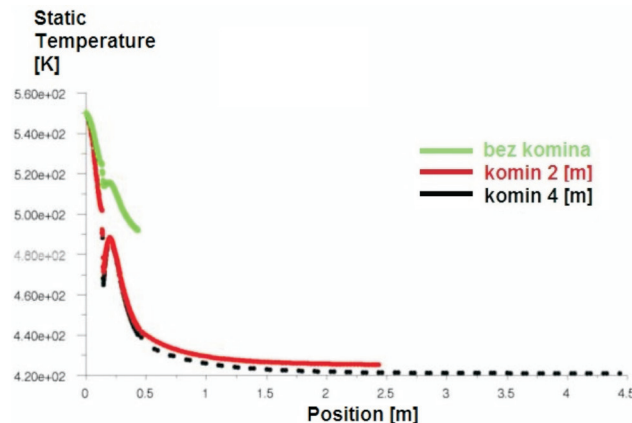
Rysunki 20 i 21 stanowią porównanie rozkładów ciśnień statycznych i temperatury spalin za przerywaczem ciągu (ta sama temperatura spalin na wejściu do przerywacza – równa 550 K). Uzyskane rozkłady ciśnienia statycznego



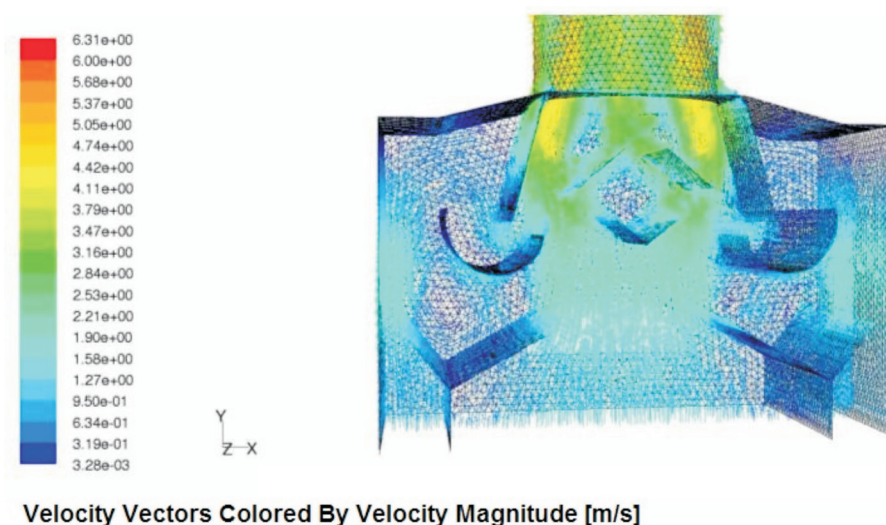
Rys. 19. Przykładowy rozkład ciśnienia statycznego w przerywaczu ciągu i kominie, dla komin o wysokości 4 m



Rys. 20. Porównanie rozkładu ciśnienia statycznego dla różnej wysokości komin w osi przepływu, w czasie pracy przerywacza ciągu

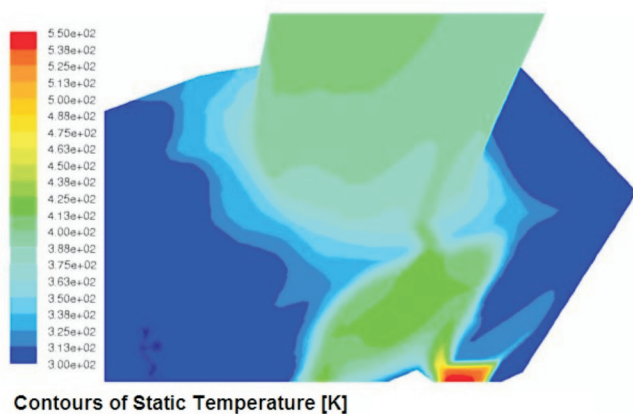


Rys. 21. Porównanie rozkładu temperatury dla różnej wysokości komin w osi przepływu, w czasie pracy przerywacza ciągu



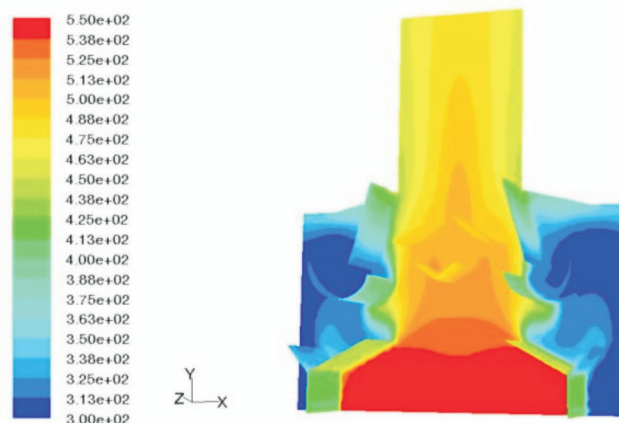
Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude [m/s]

Rys. 22. Wektorowy obraz pola szybkości przepływu spalin i powietrza w przerywaczu ciągu



Contours of Static Temperature [K]

Rys. 23. Przykładowy rozkład temperatury w przerywaczu ciągu – powierzchnia zewnętrzna



Contours of Static Temperature [K]

Rys. 24. Przykładowy rozkład temperatury w przerywaczu ciągu – powierzchnia wewnętrzna

wskazują, że model uwzględnia wysokość komina jako czynnik wpływający na siłę ciągu kominowego. Następuje również zassanie powietrza w przerywaczu ciągu, co potwierdza spadek temperatury, który jest najmniejszy dla przypadku bez komina. Wynika to z faktu, że niewielkie podciśnienie wywołuje słabe zassanie powietrza z otoczenia. Na rysunku 22 przedstawiono przykład wektorowego obrazu szybkości przepływu strumienia powietrza i spalin przez przerywacz ciągu.

Na rysunku 23 przedstawiono obraz pola temperaturowego w przerywaczu ciągu dla ścianek zewnętrznych modelu, a rysunek 24 prezentuje pole temperaturowe w przekroju wewnętrznym.

Wstępnie uzyskane wyniki analizy pracy przerywacza ciągu przy przyjętych założeniach upraszczających (temperatura spalin i powietrza wewnątrz przerywacza ciągu odpowiada temperaturze powierzchni ścianek) są zgodne

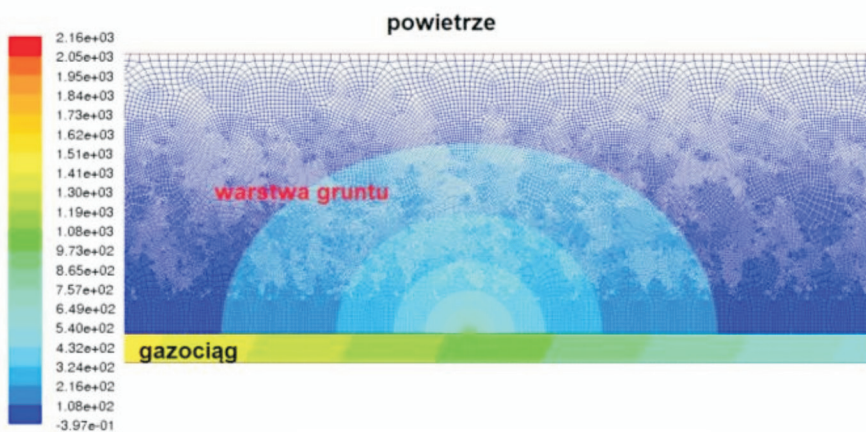
z obserwacjami z praktyki, zaś ich ocena ilościowa będzie możliwa po konfrontacji z badaniami doświadczalnymi.

Wpływ gazu przez uszkodzone fragmenty gazociągu (przepływ gazu przez warstwę porowatą)

Program FLUENT umożliwia również symulację układów wielofazowych typu: ciecz-ciało stałe, gaz-ciało stałe, gaz-ciecz oraz gaz-ciecz-ciało stałe. Przykładowo, układ gaz-ciało stałe można wykorzystać do symulacji wypływu gazu w czasie rozszczelnienia, gdy nad gazociągami zalega warstwa gruntu (skał) – dla takiego przypadku wielkość strumienia wypływu gazu przez uszkodzony fragment gazociągu będzie zależać od: właściwości gruntu, który zalega nad rurą, ciśnienia w gazociągu oraz wielkości i rodzaju uszkodzenia.

Na model rozszczelnienia gazociągu (rysunek 25) skła-

da się gazociąg z otworem szczelinowym, warstwa gruntu nad gazociągiem oraz otoczenie atmosfery. Można przyjąć, że grunt to ośrodek porowaty o określonej charakterystyce fizycznej. Podczas rozszczelnienia gazociągu dochodzi do ucieczki gazu, którego rozkład strumienia zależy będzie w głównej mierze od oporów przepływu, jakie stawia warstwa gruntu. W modelu można przyjąć, że grunt to jednorodne medium ze stałą wartością współczynnika filtracji, lub różnicować ten współczynnik wzdłuż wysokości warstwy gruntu (dyfuzja gazu przez skały o różnym współczynniku filtracji i różnej porowatości). Model ten można także wykorzystać do wyznaczania wielkości spadku ciśnienia w gazociągu – określenia wpływu ciśnienia i wielkości rozszczelniania na natężenie przepływu uchodzącego gazu (przy założeniu, że wypływający gaz nie powoduje deformacji gruntu).



Contours of Static Pressure [Pa]

Rys. 25. Model rozszczelnienia gazociągu ułożonego w ziemi – spadek ciśnienia statycznego w warstwie gruntu

Według wstępnej analizy, największego spadku ciśnienia w warstwie gruntu należy spodziewać się w okolicach miejsca wypływu (rysunek 25), gdzie prędkości przepływu gazu są największe. W dalszej odległości od miejsca wy-

pływu strumień gazu rozchodzi się promieniście i prędkość jego filtracji maleje.

Planowanie i budowa stanowisk pomiarowych

Program FLUENT może również znacznie skrócić czas przygotowania i budowy stanowisk pomiarowych. W wyniku analiz numerycznych można np. ustalić poprawną lokalizację przyrządów mierzących przepływ strumienia, ciśnienie i temperaturę. Niewątpliwie przy prowadzeniu pomiarów bardzo ważną jest strona kosztowa. Program FLUENT pozwala zmniejszyć kapitałochłonność badań – poprzez zmniejszenie ilości wymaganego opomiarowania oraz zmniejszenie kosztów budowy samego stanowiska. Przykładowo, po stwierdzeniu dużej zgodności modelu pracy przerywacza ciągu z wynikami z badań dla określonej

wysokości komina, nie ma potrzeby budowania komina o większej wysokości. Inny przykład to zmniejszenie nakładów kapitału na wykonanie pomiarów, które mają na celu ustalenie zachowania się palnika przy innych rodzajach gazu (zmniejszenie zużycia gazu). Ponadto dla dyszy kuchennej gazowej, która podlega opomiarowaniu i obserwacji tylko w ograniczony sposób (łatwy pomiar ciśnienia przed dyszą, trudny pomiar wielkości spadku ciśnienia na dyszy, ze względu na jej rozmiar – rzędu 1 cm, trudno też określić prędkość maksymalną strumienia gazu w dyszy), istnieje możliwość dogłębnej analizy wyników

(znaczenie poznawcze). Po walidacji modelu możliwe jest prowadzenie badań przy różnych warunkach brzegowych – bez obawy popełnienia błędów wynikających z niedokładności przyrządów pomiarowych.

Podsumowanie

Numeryczna symulacja za pomocą pakietu FLUENT umożliwia wnikliwą analizę przebiegu różnorodnych zjawisk, pozwala lepiej zrozumieć istotę problemu oraz umożliwia badanie wzajemnych zależności pomiędzy parametrami występującymi w danej symulacji. Dużą zaletą metod numerycznych jest skrócenie czasu uzyskania wyników oraz przekazywanie informacji o rozkładzie wszystkich wielkości fizycznych w całym obszarze przepływu. Ponadto, analiza numeryczna daje możliwość

wizualizacji, planowania i budowy stanowisk pomiarowych, które pozwolą uzyskiwać bardziej dokładne wyniki (po walidacji modelu istnieje możliwość prowadzenia pomiarów numerycznych bez popełniania błędów wynikających z niedokładności przyrządów) oraz zmniejszyć czasochłonność i kapitałochłonność badań. Cechy te, a także przedstawione w niniejszym artykule symulacje, dowodzą przydatności stosowania pakietu FLUENT dla prac realizowanych w Instytucie Nafty i Gazu.

Artykuł nadesłano do Redakcji 3.11.2010 r. Przyjęto do druku 13.01.2011 r.

Recenzent: prof. dr inż. Andrzej Froński

Literatura

- [1] *Fluent User's Guide*; <http://my.fit.edu/itresources/manuals/fluent6.3/help/>
- [2] *GAMBIT Modeling Guide*; http://cdlab2.fluid.tuwien.ac.at/LEHRE/TURB/Fluent.Inc/gambit2.1/help/html/modeling_guide/mgtoc.htm
- [3] PN-EN 1859:2002 *Kominy. Kominy metalowe. Metody badań*.
- [4] Sagan J.: *Obliczenia statyczne i dynamiczne radiatora z chłodzeniem wentylatorowym*. Instytut Techniki Ciepłej, Politechnika Śląska (dok. elektr.); <http://www.itc.polsl.pl/numerki/dydaktyka/fluent/Fluent2.pdf>
- [5] Schaffel N.: *Zadania przepływowe i ich rozwiązywanie przy pomocy pakietu FLUENT*. Instytut Techniki Ciepłej, Politechnika Śląska (dok. elektr.); http://www.itc.polsl.pl/schaffel/www_itc_pliki/Fluent-intro.pdf
- [6] Smółka J.: *Pakiet CFD FLUENT*. Instytut Techniki Ciepłej, Politechnika Śląska (dok. elektr.); http://www.itc.polsl.pl/bury/www_itc_pliki/Fluent_Model_2D.pdf



Mgr inż. Tomasz SIUDA – absolwent Wydziału Energetyki i Paliw Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie na specjalności Technologia Paliw. Pracuje w Zakładzie Użytkowania Paliw Instytutu Nafty i Gazu. Zajmuje się badaniami urządzeń gazowych.

Oferta



ZAKŁAD UŻYTKOWANIA PALIW (GU)

Kierownik: dr inż. Zdzisław Gebhardt

30-733 Kraków, ul. Bagrowa 1
tel.: +48 12 653 25 12 wew. 162
fax: +48 12 653 16 65
e-mail: zdzislaw.gebhardt@inig.pl

Zakres działania:

- prace badawczo-rozwojowe z zakresu użytkowania paliw,
- badania typu według norm zharmonizowanych z Dyrektywą 90/396/EWG (obecnie 2008/142/WE), dotyczącą urządzeń spalających paliwa gazowe,
- badania sprawności kotłów wodnych zasilanych paliwami gazowymi i olejowymi na zgodność z Dyrektywą 92/42/EWG,
- badania instalacji elektrycznych urządzeń gazowych i drobnego sprzętu domowego na zgodność z Dyrektywą Niskonapięciową 73/23/EWG (obecnie 2006/95/WE),
- badania urządzeń grzewczych typu kominki oraz kuchnie i kotły na paliwo stałe, w oparciu o normy zharmonizowane z Dyrektywą 89/106/EWG,
- badania zapalniczek gazowych i ich zgodności z wymaganiami normy EN ISO 9994 oraz ich zabezpieczenia przed uruchomieniem przez dzieci, zgodnie z normą EN 13869,
- badania kominów metalowych i ceramicznych na zgodność z normami zharmonizowanymi z Dyrektywą Budowlaną 89/106/EWG,
- badania zakłóceń przewodzonych (wprowadzanie do sieci, odporność), w odniesieniu do Dyrektywy Kompatybilności Elektromagnetycznej,
- badania i wydawanie opinii technicznych o możliwości bezpiecznego użytkowania przemysłowych urządzeń zasilanych gazem,
- projektowanie i wykonanie mieszalni gazów oraz badanie zamienności paliw,
- ekspertyzy sądowe w zakresie użytkowania gazu.

INSTYTUT NAFTY I GAZU

ul. Lubicz 25A, 31-503 Kraków
tel.: +48 12 421 00 33 fax: +48 12 430 38 85
www.inig.pl office@inig.pl

KRS 0000075478, REGON 000023136, NIP 675-000-12-77