

WOJCIECH MOKROSZ**JOANNA BIGDA****MATEUSZ NIERODA**

Mokrosz Sp z o.o. Rudy

WYKORZYSTANIE OBLICZEŃ CFD W ENERGETYCE**Streszczenie:**

W referacie zaprezentowano możliwości wykorzystania narzędzi CAD/CAM w procesach powiększania skali oraz optymalizacji wdrożonych do eksploatacji w energetyce instalacji oczyszczania spalin.

Omówiono proces walidacji wyników obliczeń CFD z wykorzystaniem programu FLUENT z wynikami uzyskanymi w trakcie pomiarów homologacyjnych eksploatowanych instalacji odsiarczania. Wskazano sposoby i możliwości wykorzystania narzędzi CAD/CAM do powiększania skali oraz optymalizacji procesów absorpcji z reakcją chemiczną na przykładzie środowiska programowego ANSYS-FLUENT.

1. Wprowadzenie:

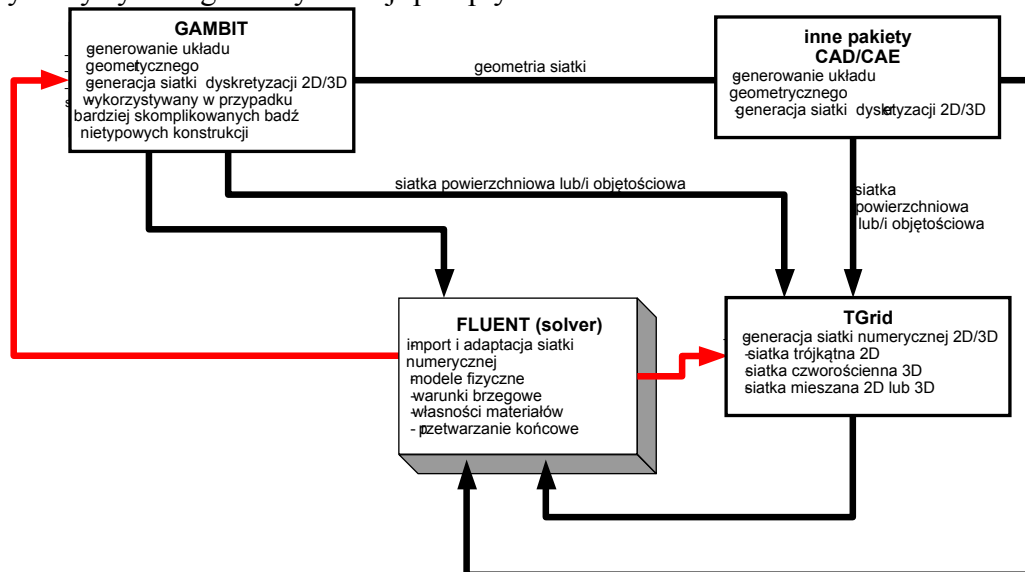
Obliczenia CFD (Computational Fluid Dynamics) stanowią rozwiniętą technologię obliczeniową pozwalającą na badanie dynamiki przepływu płynów. Wykorzystanie obliczeń CFD pozwala „badać model” w różnych konfiguracjach przy zadanych różnych warunkach fizycznych we względnie krótkim czasie i przy znacznie mniejszym koszcie w stosunku do badań modeli fizycznych. Równocześnie dostępna staje się informacja o rozkładzie wszystkich fizycznych zmiennych w całym analizowanym obszarze. W eksperymencie numerycznym eliminowane są dodatkowo niedokładności związane z błędem pomiaru. Programy CFD pozwalają uzyskać niezbędne informacje o przepływie płynu (rozkład pola prędkości, pole ciśnienia), ruchu ciepła (pola temperatury) oraz ruchu masy (w tym reakcje chemiczne). Informacje te uzyskiwane są w wyniku numerycznego rozwiązania równań opisujących wymianę pędu oraz bilansu energii i masy.

Prowadzenie symulacji przy wykorzystaniu współczesnych pakietów komercyjnych (CFD) składa się z trzech głównych etapów:

- I. **Przygotowania danych do przetwarzania (moduł przygotowawczy – preprocessor) obejmującego:** zdefiniowanie modelu geometrycznego, dobranie pozycji punktów dyskretyzacji i wygenerowanie siatki obliczeniowej, podanie warunków brzegowych i początkowych, podanie własności fizyko-chemicznych mieszanego płynu, wybór modeli uzupełniających,
- II. **Przygotowania i przeprowadzenia obliczeń numerycznych tzw. „rozwiązywanie problemu”, realizowane w module obliczeniowym – solver (moduł obliczeniowy solver) obejmujące:** wybór typu algorytmu, strategii iteracji i aktywacji modeli szczegółowych, dobór parametrów numerycznych (kroku czasowego współczynników podrelaksacyjnych), przekształcenie równań różniczkowych cząstkowych w równania algebraiczne lub równania różniczkowe zwyczajne.
- III. **Graficzną wizualizację i opracowanie otrzymanych wyników (moduł opracowania wyników – postprocessing) umożliwiającą:** jakościową weryfikację rezultatów obliczeń oraz obliczenie wielkości procesowych określanych z lokalnych wartości prędkości, ciśnienia, stężenia, temperatury, itp., wizualizację wyników w formie wykresów i wymiarowych obrazów (2D lub 3D) rozkładów wartości parametrów (prędkości, temperatury, ciśnień, itd.), generowanie wykresów obrazujących zmiany wymienionych wyżej wartości dla wybranych elementów płynu

w czasie, generowanie histogramów, analizę wielkości i parametrów j.w. dowolnych przekrojach.

Na Rys.1 przedstawiono schemat zawierający podstawowe elementy oprogramowania wykorzystywanego do symulacji przepływów.



Rys. 1. Podstawowa struktura oprogramowania środowiska Fluent.

2. Modelowanie mokrego absorbera stosowanego w technologii mokrej wapiennej tzw. MOWAP

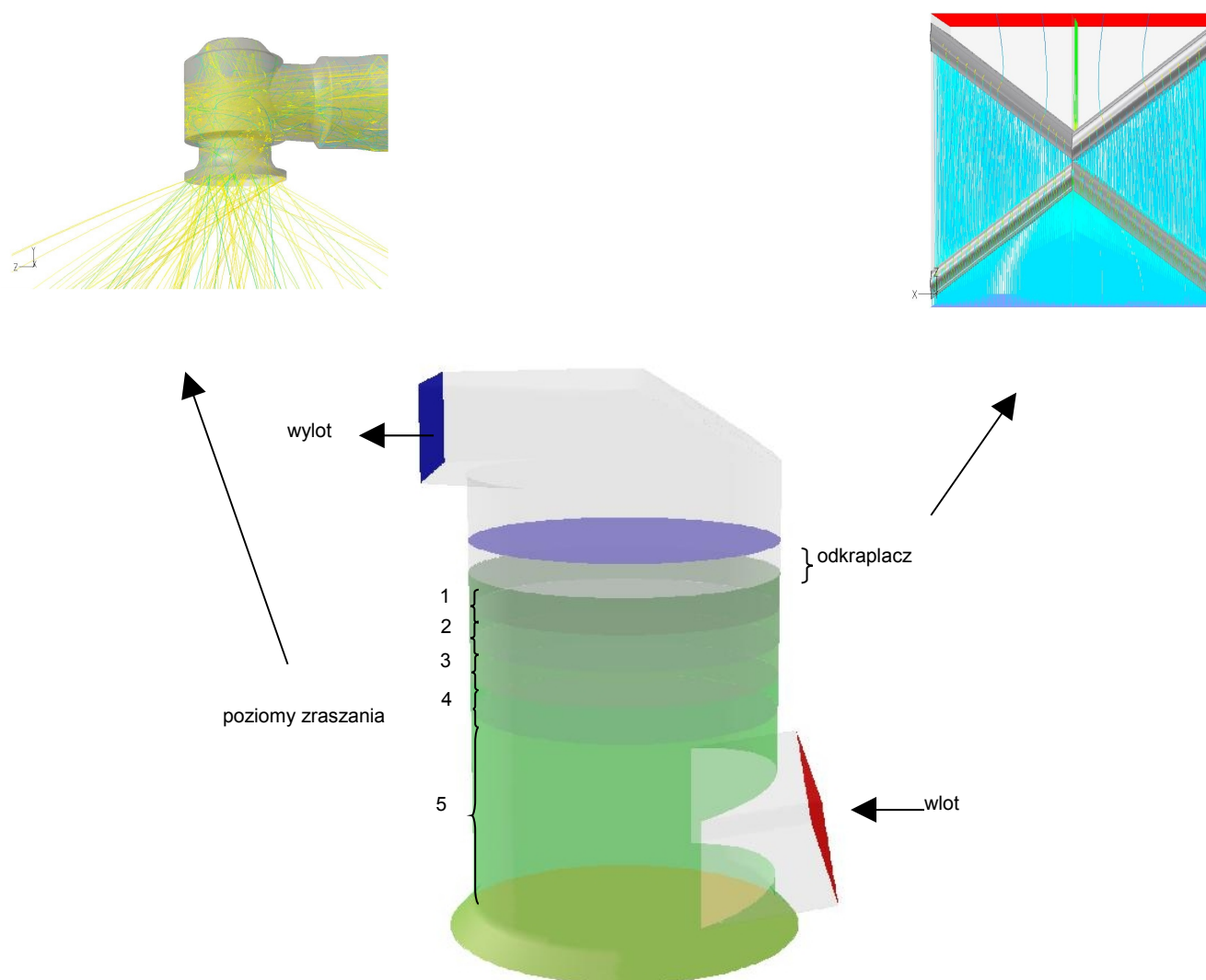
Modelowanie mokrego absorbera stosowanego w technologii mokrej wapiennej tzw. MOWAP jest istotnym zagadnieniem z punktu widzenia możliwości jego optymalizacji.

Znajomość rozkładu pól prędkości w strefie wymiany masy umożliwia optymalizację systemu zraszania. Podobnie można optymalizować pracę separatora kropel. Aktualnie głównym problemem modelowania tego typu procesów jest moc obliczeniowa współczesnych komputerów i związana z tym konieczność wykonywania obliczeń na tzw. klastrach lub serwerach wykorzystujących kilka licencji (CFD). Rozwiązanie takie jest zwykle kosztowne i czasochłonne.

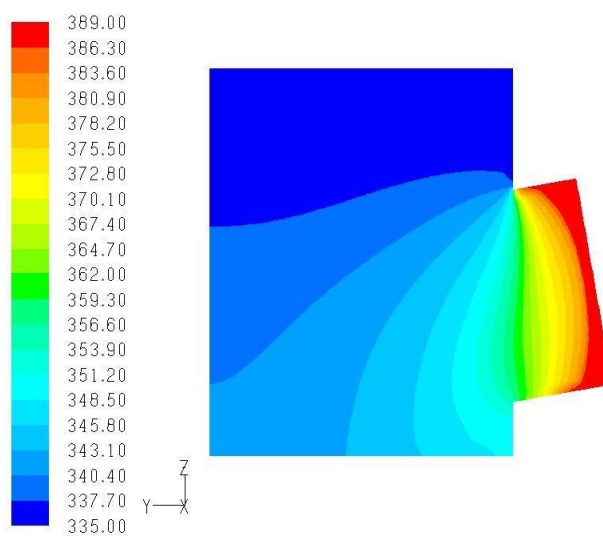
Przedstawione wyniki obliczeń i przyjęte modele dobrano w sposób umożliwiający prowadzenie obliczeń w oparciu o jedną licencję.

Poniżej zaprezentowano wyniki obliczeń rozkładu pól prędkości, temperatur oraz stężeń. Prezentowane modele umożliwiają zmianę gęstości zraszania w dowolnie wybranych obszarach pracy absorbera w np. celu wyrównania pola prędkości oraz modelowanie optymalizację pracy zraszaczy i separatorów kropel.

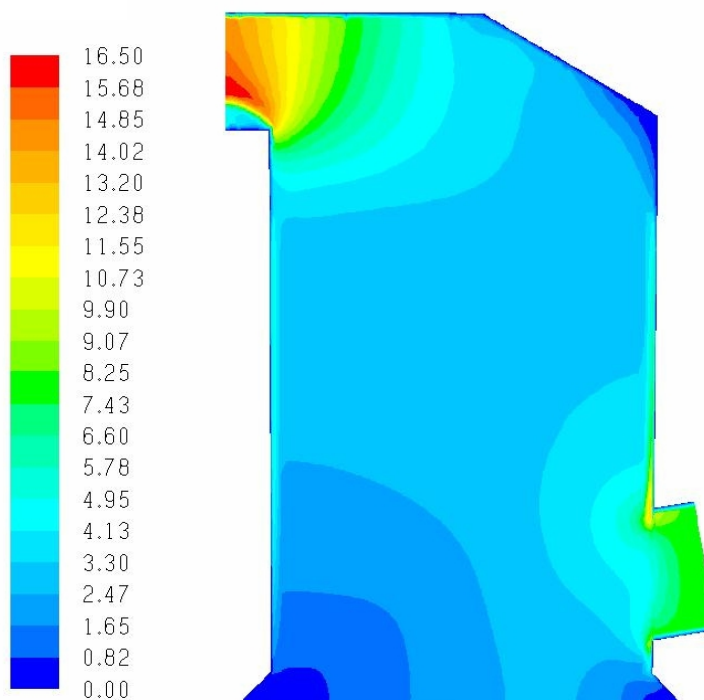
Na szczególną uwagę zasługuje wykorzystanie przez nas w numerycznym modelu absorbera natryskowego empirycznego równania opracowanego w wyniku rzeczywistych badań w modelowym absorberze. Badania były prowadzone w warunkach ustabilizowanego przepływu spalin (stałego gradientu prędkości) w całej objętości absorbera. Sposób ten umożliwia analizę wpływu wszystkich parametrów procesu odsiarczania na zmianę stężenia dwutlenku siarki, z uwzględnieniem lokalnych zmian burzliwości związanych z geometrią analizowanego obiektu w całej jego objętości.



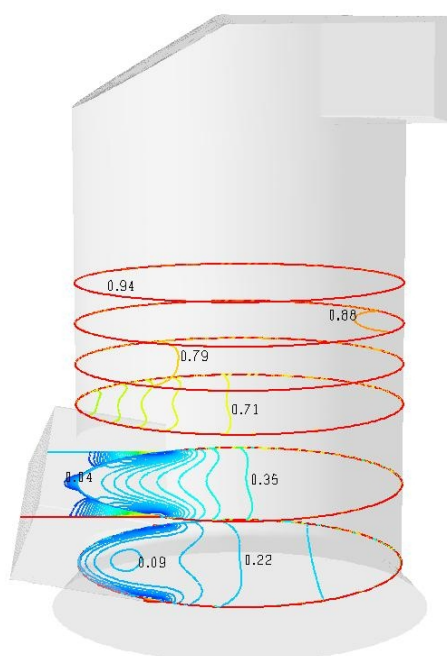
Rys.1 Podział stref w absorberze



Rys.2 Rozkład temperatury w absorberze



Rys.3 Rozkład profilu prędkości w absorberze.

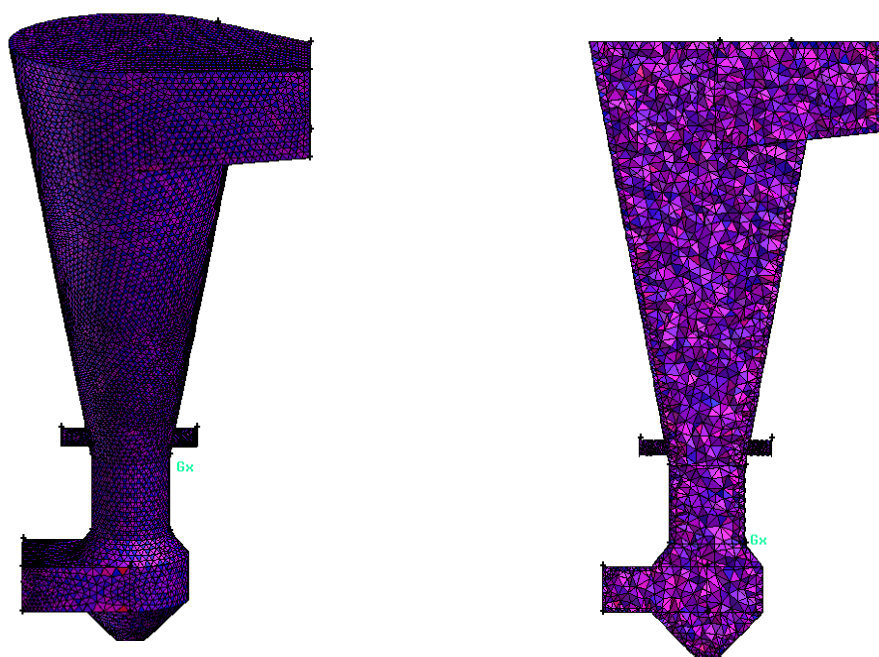


Rys.4 Rozkład stężenia w absorberze

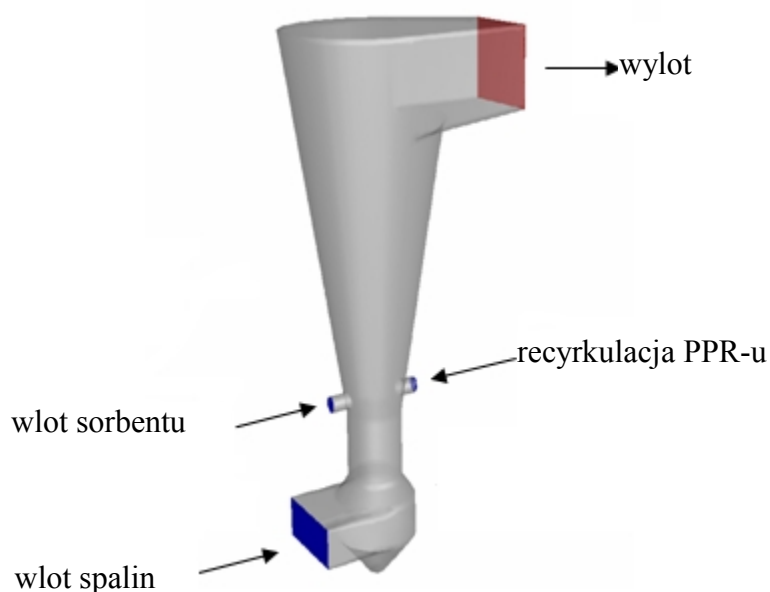
Modelowanie reaktora pneumatycznego stosowanego w technologii pól suchej.

Model poniżej prezentowanego reaktora opracowano na podstawie badań laboratoryjnych prowadzonych w mikro skali. Obliczenia CFD wykorzystano do symulacji przepływu oraz jako narzędzie ilustrujące proces powiększania skali. Ostatecznie RAFAKO S.A. zdecydowało się na wdrożenie badanego reaktora co zaowocowało trzema wdrożeniami.

Uzyskiwany w praktyce efekt odsiarczania tej technologii jest lepszy niż uzyskany w trakcie badań laboratoryjnych oraz obliczeń CFD. Aktualnie prowadzone są szczegółowe badania na obiektach rzeczywistych zmierzające do walidacji posiadanych modeli oraz rozszerzenia zastosowań analizowanego reaktora o technologie oczyszczania spalin ze spalarni odpadów.

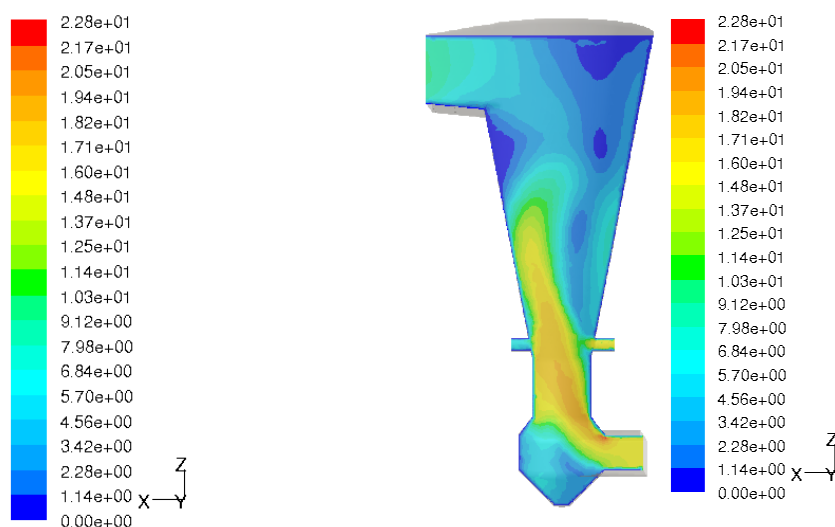


Rys.5 Siatka dyskretyzacji obliczeń reaktora pneumatycznego



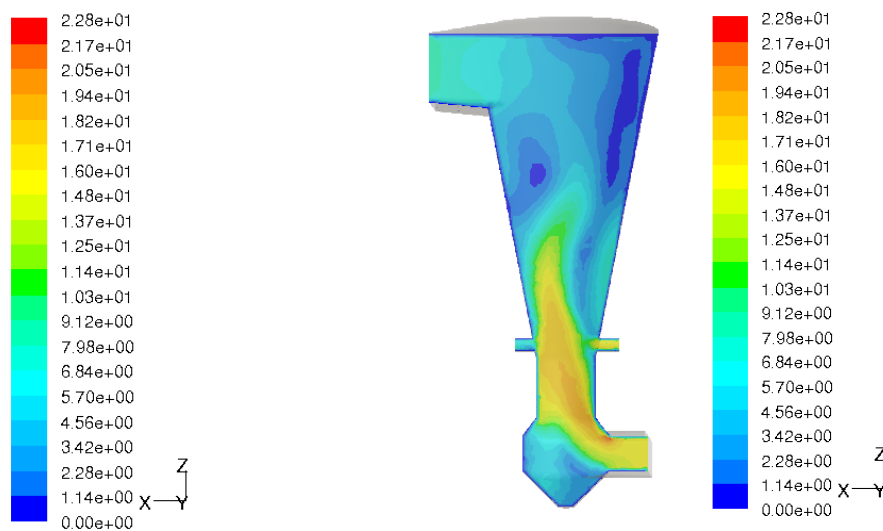
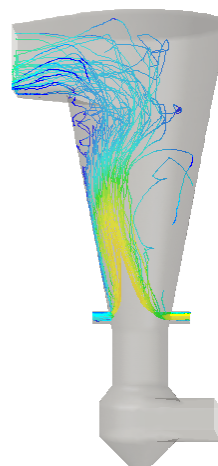
Rys.6 Geometria reaktora pneumatycznego

Rozkład prędkości średnich w aparacie dla $w=15$ na wlocie dla $d_{p3} 70\mu\text{m}$ i $d_{p3}= 10\mu\text{m}$



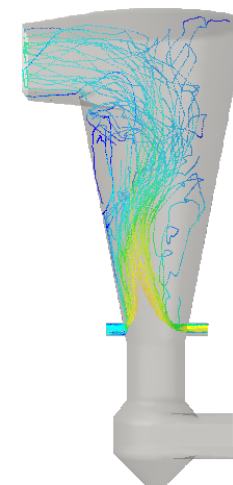
Rys.7 Rozkład prędkości średnich $w=15,0$ m/s

Rys.8 Trajektorie i prędkości cząstek sorbentu $d_{p3}= 70\mu\text{m}$



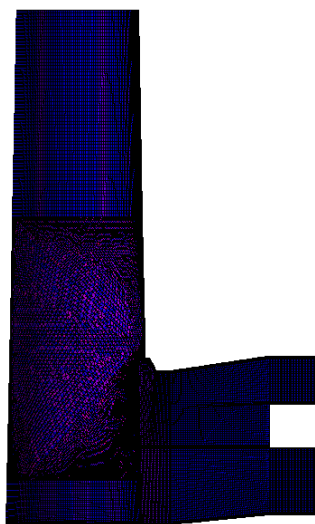
Rys.9 Rozkład prędkości średnich $w=15,0$ m/s

Rys.10 Trajektorie i prędkości cząstek sorbentu $d_{p3}= 10\mu\text{m}$

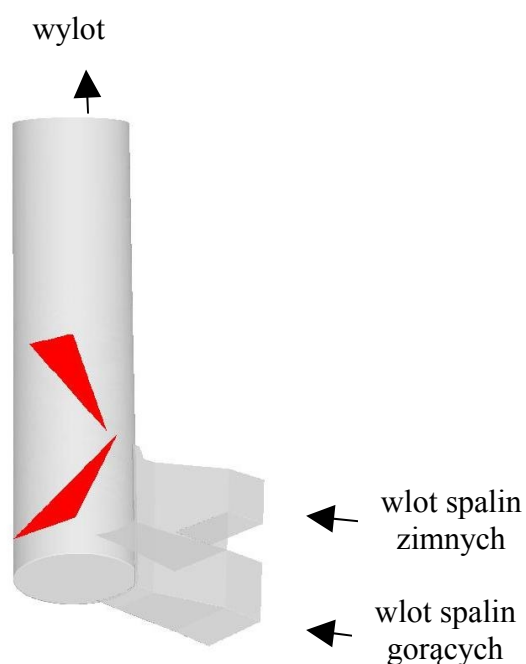


Modelowanie procesów mieszania spalin w tym spalin z amoniakiem w technologii SCR

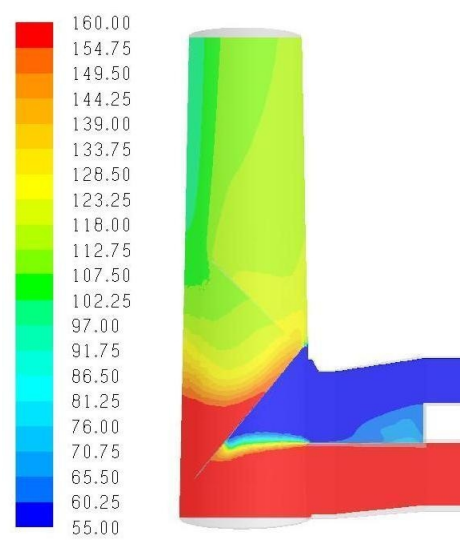
Poniżej na rysunkach przedstawiono analizę i rozwiązanie problemu mieszania dwóch strumieni spalin gorących i zimnych z wykorzystaniem mieszalnika statycznego dla zadanej geometrii kanałów spalin. Podobne rozwiązania mieszalników opracowano dla procesu dystrybucji i ujednolodzenia koncentracji amoniaku w spalinach przed katalizatorami w instalacji odazotowania spalin SCR



Rys.13 Geometria



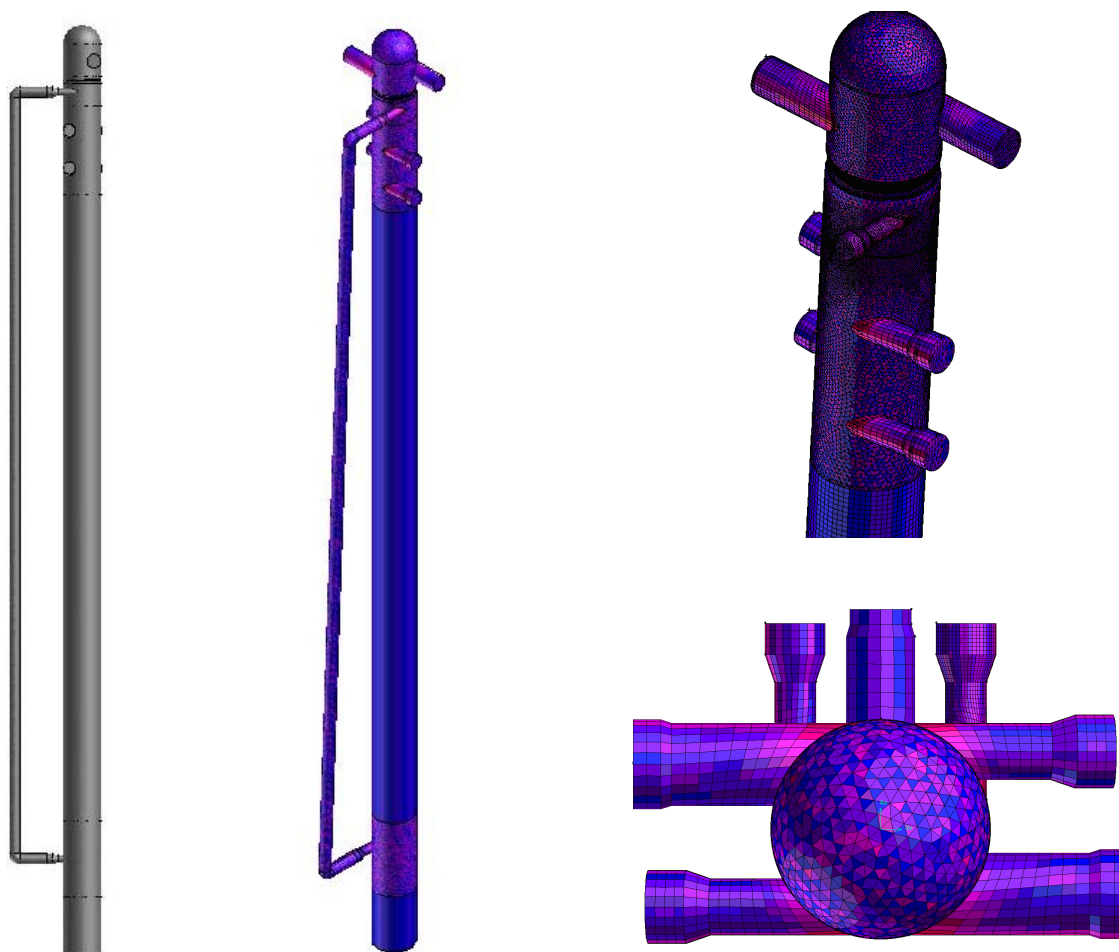
Rys.12 Geometria



Rys.13 Rozkład temperatury w kominie

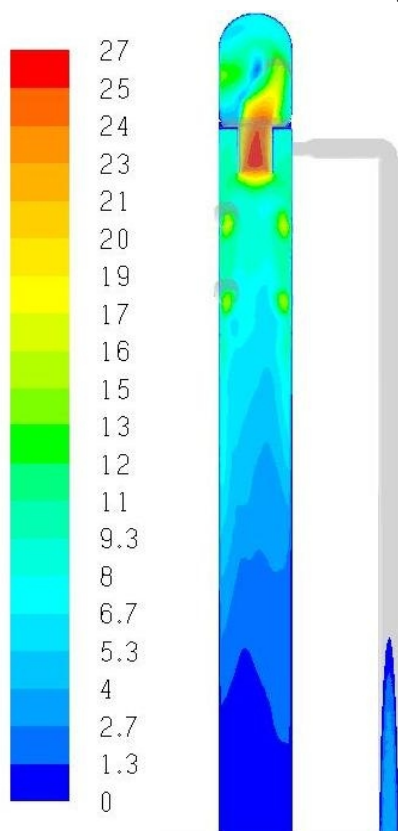
Modelowanie wodooddzielacza

Badania fizyczne wodooddzielaczy stosowanych w kotłach przepływowych są praktycznie niewykonalne stąd wykorzystanie obliczeń CFD jest jedną z metod analizy pracy tego typu separatorów w różnych warunkach obciążeń oraz dla różnych zakresów zmian parametrów eksploatacyjnych. Poniżej zaprezentowano model i wyniki obliczeń. Opracowany model stosowany jest do symulacji pracy wodooddzielacza, został on również wykorzystany do opracowania charakterystyk ruchowych i równań empirycznych które są pomocne w projektowaniu i optymalizacji kotłów przepływowych.

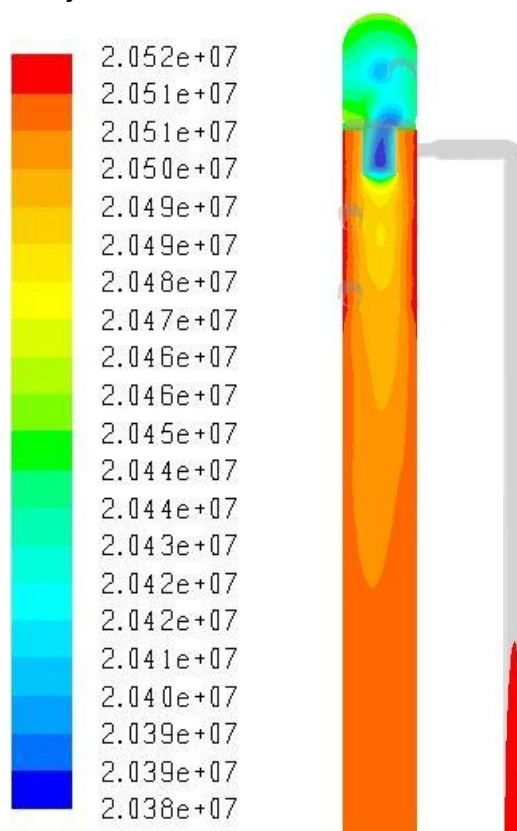


Rys.14 Geometria wodooddzielacza oraz siatka dyskretyzacji

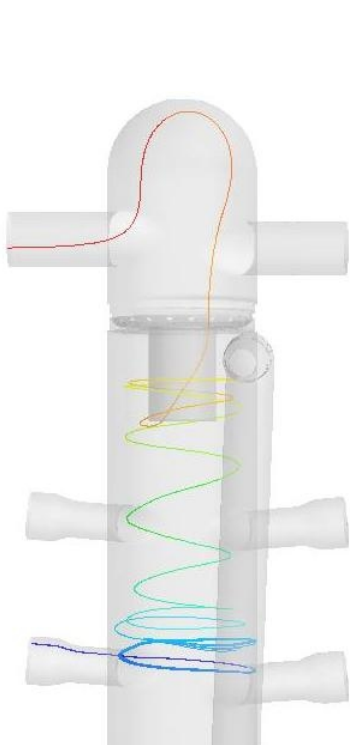
Rozkład prędkości średniej dla ciśnienie $p = 205,5$ bar, stopnia suchości mieszaniny $X = 84\%$ oraz ilość mieszaniny parowo – wodnej = 1450t/h



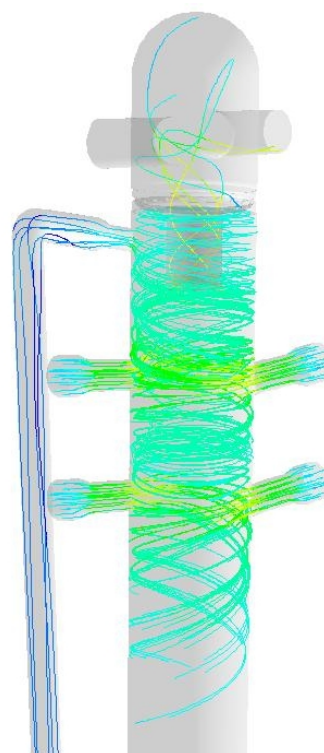
Rys.15 Rozkład prędkości średniej



Rys.16 Rozkład profilu ciśnień



Rys.17 Trajektoria lotu pojedynczej cząstki



Rys.18 Trajektoria lotu cząstek

Podsumowanie i wnioski

Zaprezentowane w referacie wybrane przykłady zastosowań oprogramowania CFD nie wyczerpują licznych możliwości ich zastosowań. Wszystkie prezentowane przykłady posiadają charakter użytkowy i przyczyniły się do zmniejszenia nakładu inwestycyjnych wdrażanych lub modernizowanych technologii i/lub ograniczenia kosztów eksploatacyjnych.

Wirtualne badania stanowią niejednokrotnie jedyną możliwość analizy procesów których jak w przypadku wodooddzielaczy nie można fizycznie zmierzyć.

Obliczenia (CFD) w stosunku do badań rzeczywistych umożliwiają znaczne szybsze uzyskanie wyników. Należy jednak zauważyć, że nie mogą one zastąpić rzeczywistych badań, które są nieodzowne i powinny służyć do walidacji uzyskiwanych wyników obliczeń.

Opisywane modele opracowane w oparciu o wyniki badań laboratoryjnych lub odwzorowujące geometrię zaprojektowanych aparatów, walidowane później wynikami pomiarów homologacyjnych z rzeczywistych obiektów stanowią doskonałe narzędzie do projektowania i optymalizacji aplikowanych urządzeń i aparatów.

Literatura

1. Robert H. Perry, Don W.Green „Perry's chemical engineers' handbook”, McGraw-Hill 1997r.
2. Octave Levenspiel “The chemical reactor omnibook”, Corvallis, Oregon 1993r.
3. Fluent 6.3 documentation.