

Rozwój pasywnych i aktywnych metod sterowania przepływem w celu optymalizacji procesu spalania w płomieniach dyfuzyjnych.

Zagadnienia związane z czystymi i bezpiecznymi metodami spalania są obecnie niezwykle ważne, szczególnie w Polsce, gdzie większość przemysłu i elektrowni opiera się na technologiach konwencjonalnych. Wszelkie próby zmierzające do zminimalizowania emisji i zwiększenia niezawodności urządzeń do spalania są zawsze mile widziane zarówno przez specjalistów, jak i przez społeczeństwo. Celem tego projektu jest opracowanie i zastosowanie efektywnych metod kontroli przepływu w celu optymalizacji turbulentnych płomieni dyfuzyjnych. Projekt koncentruje się na głębszym zrozumieniu procesów mieszania w obrębie wielu skal przepływu, ich modulacji i intensyfikacji oddziaływań między skalami dużymi i małymi. Zjawiska te nadal nie są w pełni poznane co w znacznym stopniu ogranicza konstruowanie niskoemisyjnych i bezpiecznych urządzeń przemysłowych (komory spalania, palniki, silniki, kotły itp.). Szczególna uwaga zostanie zwrócona na kontrolę: (i) kształtów płomieni; (ii) dynamiki płomieni uniesionych / stabilności płomieni; (iii) emisji zanieczyszczeń; (iv) silnie niestacjonarnych procesów obejmujących inicjację (zapłon) i propagację płomienia, zjawiska kluczowe z punktu widzenia bezpieczeństwa, niezawodności i czystości środowiska. Jednym z nowatorskich elementów projektu będzie połączenie i równoczesne zastosowanie pasywnych i aktywnych metod kontroli płomienia, które pozwolą na zmianę lokalnych i globalnych charakterystyk procesu mieszania. Kluczowym rezultatem projektu będzie lepsze zrozumienie zjawiska turbulentnego mieszania / spalania i wskazanie, w jaki sposób można je zoptymalizować, np. podtrzymywać, intensyfikować lub tłumić. Celami szczegółowymi projektu są: (i) pogłębienie wiedzy na temat procesu mieszania paliwa / utleniacza i jego wpływu na zjawiska inicjacji płomienia, stabilizacji, zdmuchnięcia i jego przestrzennego kształtowania, które są kluczowe dla rozwoju nowatorskiego, wydajnego i czystego spalania paliw; (ii) opracowanie i weryfikacja opartych na wiedzy pasywnych / aktywnych narzędzi optymalizacyjnych, które umożliwią efektywne modulowanie wzajemnych oddziaływań między skalami przepływu i płomienia w całym spektrum energii. Tak, aby inżynierowie mieli większą zdolność przewidywania i tworzenia innowacyjnych rozwiązań po niższych kosztach.

W ramach projektu stosowane będą pasywne, jak i aktywne techniki sterowania przepływem, które będą wykorzystywane zarówno osobno jak i w wariacie połączonym. Metoda pasywna będzie polegać na zastosowaniu kształtowych dysz paliwowych (prostokątnych, wielokątnych, fraktalnych itp.). W przeszłości pokazano, że strugi izotermiczne wypływające z dysz niesymetrycznych i o ostrych krawędziach charakteryzują się lepszymi parametrami mieszania w porównaniu z ich okrągłymi odpowiednikami. Zweryfikujemy, w jakim stopniu dotyczy to przepływów reaktywnych. W ramach projektu postaramy się znaleźć optymalne kształty dysz dla zmiennych parametrów paliwa i utleniacza (prędkość, skład, temperatura) oraz w zależności od przyjętych kryteriów optymalizacji (np. maksymalna / minimalna wysokość odsunięcia płomienia, maksymalna / minimalna powierzchnia płomienia, najbardziej jednorodna temperatura itp.). Z punktu widzenia lepszej kontroli płomienia przy różnych warunkach przepływu, aktywne metody sterowania wydają się być znacznie bardziej elastyczne. Metody aktywne wymagają wkładu energii (wzbudzenia), której rodzaj i poziom mogą być ustalone a priori lub zmienne w zależności od zmian przepływu (podejście interaktywne). Aktywna metoda kontroli będzie uzyskiwana poprzez wzbudzenie wprowadzone do przepływu przez osiowe, osiowe + naprzemienne, osiowe + spiralne (azymutalne) wymuszenie. Bazując na przepływach strug izotermicznych/jednorodnych wykazano, że zastosowanie tego rodzaju wzbudzenia radykalnie zmienia zachowanie/kształt przepływu i może nawet rozdzielić strumień przepływu na kilka osobnych strug. W ramach projektu aktywne podejście zostanie połączone z pasywnym, przeprowadzone zostaną badania parametryczne dotyczące różnych poziomów amplitud, częstotliwości i przesunięć fazowych. Stosowane będą zaawansowane metody CFD (Computational Fluid Dynamics), które zostaną uzupełnione badaniami eksperymentalnymi. Symulacje zostaną przeprowadzone przy pomocy precyzyjnego kodu obliczeniowego SAILOR przy użyciu metody symulacji bezpośredniej oraz metody dużych wirów (DNS/LES) z zaawansowanym modelem spalania (Eulerian Field PDF). Badania eksperymentalne będą prowadzone na stanowisku pomiarowym wyposażonym w system aktywnej modulacji przepływu z zestawem dysz o zmiennym kształcie.

Możliwość kontroli silnie niestacjonarnych procesów (np. zapłonu, stabilności płomienia, zmienności kształtu płomienia) jest pośrednio, ale w dużym stopniu zależna od procesu mieszania. Samozapłon jest uwarunkowany mieszaniem paliwa / utleniacza w regionach o wysokiej temperaturze, podczas gdy sukces iskry zależy od jej lokalizacji względem mieszanki palnej. Dzięki nowatorskim i precyzyjnym metodom optymalizacji mieszania zarówno procesy zapłonu iskrowego, jak i samozapłonu będą mogły być skutecznie kontrolowane, co ma kluczowe znaczenie dla wydajności i bezpieczeństwa wielu urządzeń przemysłowych. Uzyskanie możliwości zmiany kształtu płomienia jest bardzo kuszące, a prace w tym kierunku są bardzo perspektywiczne. Rezultaty projektu, jeśli założone cele zostaną osiągnięte, otworzą zupełnie nowe horyzonty w sterowaniu nie tylko fazami inicjacji i propagacji płomienia lub kształtami płomieni, ale także całym procesem spalania.