

1 Cel projektu

Celem projektu jest budowanie nowej i pogłębienie istniejącej wiedzy poprzez (i) identyfikację niestabilności globalnej w płomieniach z przeciwrądem pierścieniowym, (ii) opisanie i zbadanie nowo poznanego mechanizmu obejmującego unoszenie się płomienia. To pierwsze jest osiągnięte poprzez teoretyczne oraz numeryczne badania podstawowe i pozwala na lepsze poznanie zjawiska niestabilności globalnej. Pomimo znacznych wysiłków mechanizmy niestabilności hydrodynamicznej przepływów nie są w pełni poznane. Te ostatnie mogą ostatecznie zapewnić środki ułatwiające stabilne spalanie na wczesnych etapach projektowania nowych komór spalania turbin gazowych.

Pierścieniowy przeciwrząd bazuje na konfiguracji, która składa się z centralnej dyszy dostarczającej paliwo oraz większej współosiowej dyszy zasysającej płyn z otoczenia centralnej dyszy. Jego zadaniem jest manipulowanie polem przepływu poprzez wywołanie niestabilności globalnej. Charakterystyczną cechą tego zjawiska jest pojawienie się w przepływie koherentnych struktur wirowych, np. schodzące wiry pierścieniowe. Struktury te powodują efektywniejsze wymieszanie się paliwa z utleniaczem oraz oddziałują znacząco na front płomienia. Oba te czynniki odgrywają ważną rolę w oderwaniu się płomienia od dyszy palnika. Uniesienie się płomienia ma dwie zasadnicze zalety. Po pierwsze, gdy płomień jest odsunięty, ryzyko zassania płomienia do przewodu doprowadzającego paliwo jest w dużej mierze wyeliminowane. Po drugie, zachowanie odstępu między obrzeżem palnika a podstawą płomienia chroni palnik przed naprężeniami termicznymi lub korozją. Dokładna rola niestabilności globalnej w przejściu płomienia ze stanu przylgniętego do uniesionego z wykorzystaniem przeciwrądu pierścieniowego nie została dotychczas wyjaśniona. Projekt próbuje zidentyfikować mechanizmy leżące u podstaw tego procesu z nadzieją na jego dalsze wykorzystanie w praktycznych zastosowaniach.

W projekcie skupiono się na spalaniu wodoru. Wodór jest rozpatrywany jako obiecujący nośnik energii, jednak jego spalaniu towarzyszą niepożądane zjawiska (np. cofnięcie się płomienia, emisja NOx), które muszą zostać lepiej poznane. Projekt ten ma na celu lepsze zrozumienie procesu spalania wodoru oraz zapewnienie możliwości efektywnej kontroli płomienia z udziałem przeciwrądu pierścieniowego wywołującego niestabilność globalną.

2 Metodyka badań

W ramach projektu wykorzystuje się potencjał zjawiska globalnej niestabilności do zmiany charakteru procesu spalania. Nacisk kładziony jest na konfigurację przeciwrądową, która, jak udowodniono w przeszłości, zwiększa wydajność mieszania i zapobiega zdmuchnięciu płomienia. W projekcie rozpatrywane są płomienie dyfuzyjne/kinetyczne dla szerokiego zakresu parametrów kontrolnych (prędkość, skład, temperatura). Szczególną uwagę poświęca się: (i) wpływowi warunków (pole gęstości/prędkości) na początek niestabilności globalnej; (ii) poprawie mieszania na skutek pojawienia się struktur koherentnych; (iii) dynamice płomienia i jego stabilizacji; (iv) emisji zanieczyszczeń.

Badania prowadzone są z wykorzystaniem czasoprzestrzennej liniowej teorii stabilności oraz technik symulacji o wysokiej wierności (DNS/LES), które są wiarygodne w przewidywaniu globalnej niestabilności. W ramach projektu stosowany jest gruntownie zwalidowany kod akademicki (SAILOR), a dalsza walidacja wyników numerycznych odbywa się w oparciu o dane eksperymentalne dostępne w literaturze. Teoretyczne i numeryczne badania nad niestabilnością globalną w niereaktywnych strumieniach przeciwrądowych (pasywne mieszanie) przygotowują zestaw parametrów do przeprowadzenia symulacji numerycznych dla reaktywnych strumieni przeciwrądowych (płomieni). Te z kolei mają na celu fizyczne zrozumienie odpowiedzi płomienia na globalną niestabilność oraz dają kompletną strategię kontroli płomienia. Badania DNS i LES są wykonywane przy użyciu zaawansowanego podejścia numerycznego (metody dyskretyzacji, modele spalania, mechanizm kinetyki chemicznej itp.) opisującego wszystkie istotne aspekty fizyczne płomieni turbulentnych, w tym zarówno zjawiska silnie niestacjonarne, jak samozapłon czy wygaszenia, jak i efekty związane z promieniowaniem i produkcją NOx.

3 Expected impact of the research project on the development of science

Zakończony sukcesem projekt otworzy nowe kierunki badań i zastosowań inżynierskich. Oczekuje się osiągnięcia bezprecedensowej kontroli płomienia, dokładnie wyjaśnionej metodami koncepcyjnymi. Ta nowatorska strategia sterowania i jej zrozumienie będą promieniować w przyszłych badaniach nad podobnymi lub nowymi konfiguracjami przeciwrądowymi.