Cele projektu

Projekt ma na celu analizę fizyki spalania turbulentnego wodoru w atmosferze mieszanki tlenu i pary wodnej oraz mieszanki wodoru i amoniaku w powietrzu, a także kontrolę tych procesów. W pierwszym przypadku, eliminacja azotu sprawia, że jedynym produktem spalania jest para wodna, co czyni ten proces wyjątkowo czystym. Spalanie mieszanki wodoru i amoniaku, choć prowadzi do powstawania szkodliwych związków NOx przy wysokich temperaturach, nie generuje dwutlenku węgla, eliminując głównego sprawcę efektu cieplarnianego. Projekt obejmuje badanie płomieni w sąsiedztwie typowych elementów układów wtryskowych, takich jak dysza paliwowa i ciało nieopływowe. Zadania projektu koncentrują się na dogłębnym zrozumieniu procesu mieszania i jego intensyfikacji lub tłumieniu poprzez wzmacnianie interakcji między dużymi i małymi skalami przepływu. Te zjawiska, wciąż nie w pełni poznane, obecnie ograniczają rozwój niskoemisyjnych i bezpiecznych urządzeń przemysłowych, zwłaszcza w przypadku spalania wodoru i amoniaku oraz spalania wodoru w tlenie, których kinetyka nie jest jeszcze dobrze znana w porównaniu do paliw węglowodorowych. Szczególna uwaga poświęcona będzie następującym zagadnieniom: (i) sterowanie kształtami wewnętrznych i zewnętrznych stref recyrkulacji powstających w śladzie za ciałem nieopływowym i w bliskiej odległości od dyszy paliwowej; (ii) dynamika i stabilność płomienia; (iii) redukcja zanieczyszczeń; (iv) silnie niestacjonarne zjawiska takie jak zapłon oraz propagacja lub wygaszenie płomienia, czynniki kluczowe z punktu widzenia bezpieczeństwa, niezawodności, czystości środowiska oraz wydajności. Kluczowym rezultatem projektu będzie lepsze zrozumienie mechanizmów turbulentnego mieszania i spalania wodoru w tlenie i parze wodnej oraz wodoru i amoniaku oraz informacja, jak procesy te można zoptymalizować. Szczegółowe cele niniejszego projektu są następujące:

- Opracowanie i weryfikacja pasywnych/aktywnych metod optymalizacji, które umożliwią efektywne wykorzystanie wzajemnych interakcji między skalami przepływu/płomienia w całym spektrum energii.
- Pogłębienie wiedzy na temat zjawisk silnie niestacjonarnych (zapłon, propagacja płomienia), które mają istotne znaczenie dla rozwoju nowatorskich, wydajnych i przyjaznych środowisku paliw.

Metodyka badań

W projekcie wykorzystywane będą pasywne i aktywne techniki sterowania przepływem. Te pierwsze polegać będą na dostosowaniu kształtu dysz i ciał nieopływowych oraz zmianie topologii ich ścian. Przeprowadzone dotychczas badania pokazują, że strumień cieczy/gazu wypływający z dysz i kanałów o nieregularnym kształcie, ostrych krawędziach bądź płynący wzdłuż falistych powierzchni charakteryzuje się podniesionym poziomem turbulencji i zintensyfikowanym mieszaniem. W ramach projektu zweryfikowane będzie w jakim stopniu wpływa to na spalanie wodoru i amoniaku. Poza pogłębieniem wiedzy na temat płomieni turbulentnych znajdujących się za dyszami paliwowymi i ciałami nieopływowymi będziemy poszukiwać ich preferowanych kształtów dla różnych parametrów paliwa i utleniacza (prędkość, skład, temperatury) w zależności od przyjętego kryterium optymalizacji (np. maksymalna/minimalna wysokość odsunięcia płomienia, maksymalna/minimalna powierzchnia płomienia, najbardziej jednorodny rozkład temperatur, itp.). Pod kątem sterowania płomieniem w różnych warunkach przepływu, aktywne metody sterowania wydają się skuteczniejsze. Zakładają one dostarczenie energii z zewnątrz (wzbudzenie), której rodzaj i poziom można ustalić z góry lub zmieniać go w zależności od zachowania przepływu (podejście interaktywne). W projekcie, aktywne sterowanie uzyskane będzie poprzez modulowane wzbudzenie wprowadzone do przepływu jako wymuszenie osiowe i osiowe w połączeniu z helikalnym (azymutalnym). Badania zostaną przeprowadzone z wykorzystaniem zaawansowanych narzędzi CFD (metody DNS, LES, Eulerian PDF, precyzyjny program obliczeniowy bazujący na metodach dyskretyzacji wysokiego rzędu) oraz uzupełnione będą o analizy eksperymentalne. Optymalizacja wspierana będzie przez zastosowanie metod uczenia maszynowego (optymalizacja bayesowska, głębokie uczenie).

Przewidywany wpływ projektu badawczego na rozwój nauki

Wykorzystanie wodoru i amoniaku na szeroką skalę jest obecnie ograniczone przez niewystarczającą wiedzę na temat oddziaływań pomiędzy przepływem i płomieniem oraz brak efektywnych metod sterowania silnie niestacjonarnymi procesami spalania (np. stabilizacja płomienia, propagacja, samozapłon oraz zapłon iskrowy). Samozapłon, rozprzestrzenianie się płomienia i jego stabilizacja są uwarunkowane mieszaniem paliwa i utleniacza w obszarach o wysokiej temperaturze, natomiast zapłon iskrowy zależny jest od tego, czy inicjuje się go w rejonie dobrze wymieszanej mieszanki palnej. Można przypuszczać, że dzięki dokładnemu i precyzyjnemu przewidywaniu zjawisk mieszania zarówno proces zapłonu iskrowego i samozapłonu, jak również propagacja/stabilizacja płomienia będą mogły być skutecznie kontrolowane, co ma kluczowe znaczenie dla wydajności i bezpieczeństwa wielu urządzeń przemysłowych. Możliwość zmiany kształtu płomienia i jego dynamiki jest bardzo kusząca, a prace w tym kierunku otworzą nowe perspektywy zarówno dla naukowców, jak i inżynierów.