

THERMIC: Rewolucjonizacja Przenoszenia Ciepła za pomocą Przepływów Dwufazowych

Przenoszenie ciepła jest fundamentalne w naszym codziennym życiu i niezliczonych gałęziach przemysłu – od ogrzewania naszych domów po chłodzenie potężnych urządzeń elektronicznych, a nawet zarządzanie temperaturą w przestrzeni kosmicznej. Tradycyjnie ciepło jest transportowane za pomocą płynów, które pozostają w stanie ciekłym, bazując na podstawowych procesach, takich jak przewodzenie i konwekcja. Istnieje jednak znacznie bardziej efektywna metoda, polegająca na „zmianie fazy” – gdzie ciecz zamienia się w gaz (parowanie) lub gaz skrapla się z powrotem w ciecz (skraplanie). Pozwala to na wykorzystanie nie tylko powszechnie znanego ciepła (ciepła jawnego), ale także ogromnej ilości ciepła „utajonego”, które jest pochłaniane lub uwalniane podczas przemiany fazowej, co czyni te systemy (dwufazowe) wyjątkowo efektywnymi.

Pomimo ich doskonałej wydajności, systemy dwufazowe, zwłaszcza w kanałach o niewielkich średnicach, zwanych kapilarami, stwarzają wiele naukowych wyzwań. Parametry zazwyczaj pomijane w prostszych systemach, takie jak mikroskopijna chropowatość ścianek kanałów czy siły zewnętrzne (jak grawitacja czy siła odśrodkowa), stają się krytycznie ważne. Wpływy te mogą w nieprzewidywalny sposób zmieniać przepływ płynu i wpływać na proces przenoszenia ciepła. Na przykład, siły zewnętrzne działają inaczej na ciecze i gazy ze względu na różnicę w ich gęstości, co może zakłócić strukturę przepływu i wpłynąć na wydajność systemu. Tymczasem chropowatość kanałów wpływa na opór przepływu, dostępną powierzchnię do wymiany ciepła oraz napięcie powierzchniowe – wszystkie kluczowe elementy dla efektywnej przemiany fazowej. Zrozumienie tych dynamicznych procesów w małych kanałach jest trudne i wciąż nie w pełni poznane.

Projekt THERMIC bezpośrednio odpowiada na te wyzwania, wykorzystując najnowocześniejsze stanowisko eksperymentalne. Zaprojektujemy przezroczyste sekcje wykonane z hartowanego szkła, zintegrowane z rdzeniami wymienników ciepła ze stali nierdzewnej. Rdzenie te są precyzyjnie kształtowane za pomocą zaawansowanej technologii druku 3D z metalu, co pozwala skrupulatnie kontrolować mikroskopijne cechy powierzchni (chropowatość) kanałów. Ta innowacyjna metoda produkcji umożliwi nam badanie, jak nawet najmniejsze niedoskonałości wpływają na przepływ płynu i wymianę ciepła. Ruch płynu w naszym systemie będzie napędzany naturalnie – poprzez zjawiska kapilarne i podgrzewanie.

Aby dokładnie obserwować te złożone zachowania, zastosujemy szybkie kamery, rejestrujące szczegółową dynamikę płynu podczas parowania, skraplania oraz w różnych strukturach przepływu (sekcja adiabatyczna). Kluczową innowacją jest integracja zaawansowanych światłowodowych czujników temperatury ulokowanych w specjalnie do tego opracowanych kanałach druku 3D. Czujniki te będą precyzyjnie mierzyć rozkład temperatury w czasie rzeczywistym, nawet gdy całe stanowisko eksperymentalne będzie się obracać. Dane będą zbierane bezprzewodowo, zapewniając ciągłe śledzenie zmian termodynamicznych podczas ruchu.

Nasze eksperymenty odbędą się w dwóch głównych etapach: badania stacjonarne na Politechnice Wrocławskiej, które dostarczą danych bazowych. Następnie kluczowa faza rotacyjna będzie miała miejsce w Centrum Zastosowanych Technologii Kosmicznych i Mikrogravitacji (ZARM) w Bremie, w Niemczech. Tam, przy użyciu wielkośrednicowej wirówki (LDC) symulowane będą ekstremalne warunki, generując siłę odśrodkową nawet 10 razy większą niż grawitacja ziemską, co pozwoli nam zrozumieć, jak takie przeciążenie wpływa na przepływ dwufazowy i proces przenoszenia ciepła.

Wszystkie obszernie dane zebrane z tych eksperymentów oraz równoległych symulacji komputerowych zostaną zorganizowane i przechowywane w nowoczesnej, otwartej bazie danych. Te ustandaryzowane informacje będą dostępne dla innych badaczy na całym świecie, stanowiąc bogate źródło do przyszłych badań. Analizując ten obszerny zbiór danych, zwłaszcza przy wsparciu sztucznej inteligencji (AI) i algorytmów uczenia maszynowego (ML), dążymy do odkrycia ukrytych zależności, przewidywania wydajności systemów i ostatecznie ugotowania drogi do projektowania nowej generacji, wysoce wydajnych systemów zarządzania ciepłem do różnorodnych zastosowań – od chłodzenia wysokowydajnej elektroniki po zaawansowane technologie kosmiczne.