

mgr inż. Tomasz Hałon

## „OPTIMALIZACJA PARAMETRÓW PROCESU WRZENIA ZIĘBNIKA W NISKOCIŚNIENIOWYM ADSORPCYJNYM SYSTEMIE TRIGENERACYJNYM”

Promotor: **prof. dr hab. inż. Zbigniew Królicki**  
Promotor pomocniczy: **dr inż. Bartosz Zajączkowski**

### Streszczenie:

Duże wartości współczynników wnikania ciepła podczas wrzenia spowodowane są powstawaniem, wzrostem oraz oderwaniem się pęcherzy parowych. Dzieje się tak, gdyż rosnący pęcherz odbiera duże ilości ciepła poprzez odparowanie cieczy do jego wnętrza. Ponadto, wzrost pęcherza powoduje ruch cieczy przy powierzchni, a oderwanie pęcherza powoduje jej mieszanie. Z tego powodu, kształt, wielkość oraz częstotliwość oderwania pęcherzy ma duże znaczenie przy wrzeniu.

Spośród poznanych substancji, woda charakteryzuje się największym ciepłem parowania. Oznacza to, że jednostkowo, przy parowaniu lub wrzeniu jest w stanie odebrać największe ilości ciepła. Dodatkowo jest jedną z najpowszechniejszych substancji na Ziemi, jest nietoksyczna, niepalna i neutralna dla środowiska. Z tego powodu jest potencjalnie dobrym czynnikiem chłodniczym. Negatywnym aspektem zastosowania jej jako naturalnego czynnika chłodniczego jest jej ciśnienie nasycenia dla temperatur interesujących z punktu widzenia chłodnictwa, tj.: 5-12°C. Jest to odpowiednio ciśnienie 0,87 i 1,4 kPa.

Z dostępnych danych literaturowych wynika, że w takich warunkach do rozpoczęcia wrzenia potrzebne jest przegrzanie ścianki większe niż 10 K. Powstające pęcherze są o rząd wielkości większe niż przy ciśnieniu atmosferycznym, a częstotliwość ich oderwania mniejsza. Ponadto współczynniki wnikania ciepła są o rząd wielkości mniejsze niż przy ciśnieniu atmosferycznym. Powoduje to zwiększenie wymaganej powierzchni wymiany ciepła parownika, a przez to zwiększenie spadków ciśnienia i zmniejszenie sprawności wymiennika. Rosną koszty materiałów, transportu urządzenia i jego masa.

Mimo dużej liczby prac eksperymentalnych oraz teoretycznych, mechanizm wrzenia nie został w pełni opisany. Powszechne wzory na współczynnik wnikania ciepła znajdujące się w ogólnodostępnej literaturze są wzorami empirycznymi lub pół-empirycznymi. Ich zakres ciśnień nie obejmuje parametrów używanych w niskociśnieniowym chłodnictwie.

Celem pracy jest maksymalizacja współczynnika wnikania ciepła przy wrzeniu, zachowując jak najniższą temperaturę ścianki parowacza. W konsekwencji doprowadzi to do zmniejszenia adsorpcyjnych urządzeń chłodniczych stosowanych w trigeneracji oraz zwiększenie ich sprawności i konkurencyjności na rynku (poprzez zmniejszenie ceny i rozmiarów).

Rozprawa dotyczy wrzenia naturalnych czynników chłodniczych (ziębników). Aplikacyjnie skierowana jest na konstrukcję parowacza adsorpcyjnego systemu trigeneracyjnego. Przedmiotem jest proces wrzenia wody zachodzący w niskich ciśnieniach z powierzchni płaskiej oraz ze struktur rozwiniętych z tunelami podpowierzchniowymi.

Zakresem prowadzonych badań są naturalne czynniki chłodnicze: woda destylowana i metanol, pod ciśnieniem rzędu od 0,3 do 18 kPa. Badania przeprowadzono w zakresie gęstości strumieni ciepła od 0,43 W/cm<sup>2</sup> do 5,93 W/cm<sup>2</sup>. Przebadane wysokości słupa cieczy to 5,7, 18,9 i 32,3 mm.



Badane struktury rozwinięte o tunelach podpowierzchniowych uzyskano od dr hab. inż. Roberta Pastuszko z Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej. Jest to 6 różnych powierzchni. Wybrane struktury posiadają 3 główne żebra o wysokości 5 mm. W przypadku struktur typu NTS (Narrow Tunnel Structure - Struktury wąskotunelowe) żebra główne zostały sfrezowane na wskroś, co utworzyło mini-żebra. Dwie z badanych powierzchni NTS posiadały pokrycie z folii miedzianej o grubości 0,1 mm z perforacjami wykonanymi metodą trawienia chemicznego o średnicy perforacji 0,2 mm. Drugim rodzajem struktur wykorzystanych w pracy były powierzchnie typu TS (Tunnel structure - struktura tunelowa). W tym typie wycięto mikro-rowki na bocznych powierzchniach żeber głównych i w poziomych przestrzeniach międzyżebrowych. Następnie dzięki spiekaniu dwie z nich zostały pokryte miedzianą folią perforowaną o średnicy perforacji 0,2 mm.

Badania przeprowadzono na dwóch stanowiskach badawczych. Wpływ ciśnienia oraz wysokości słupa cieczy na wrzenie w objętości przy ciśnieniu sub-atmosferycznym przeprowadzono w Laboratorium Chłodnictwa i Kriogeniki, wydziału Mechaniczno-Energetycznego Politechniki Wrocławskiej na stanowisku należącym do Zakładu Podstaw Konstrukcji i Maszyn Przepływowych. Mierzono temperaturę przegrody ogrzewanej drutem oporowym oraz ciśnienie w zbiorniku. Na podstawie różnicy między temperaturą przegrody, a temperaturą nasycenia wyznaczono współczynnik wnikania ciepła. Wyznaczono również czas powstawania i wzrostu pęcherzy gazowych poprzez pomiar zmiany temperatury ścianki w czasie.

Wrzenie ze struktur rozwiniętych przebadano w Laboratorium należącym do Centrum Badań Termicznych i Energetycznych (Centre d'Energetique et de Thermique de Lyon - CETHIL) przy Narodowym Instytucie Badań Stosowanych w Lyonie (Institut national des sciences appliquees de Lyon - INSA). Zmierzone chwilowe gęstości strumienia ciepła przy stałym zadanym strumieniu ciepła, temperaturę podstawy struktury w trzech miejscach oraz ciśnienie. Na podstawie chwilowych gęstości strumienia ciepła oraz temperatury podstawy struktury wyznaczono współczynnik wnikania ciepła. Ponadto nagrano proces nukleacji ze struktur za pomocą kamery szybkiej, o prędkości zapisu 1000 klatek na sekundę.

W pracy przedstawiono własne stałe empiryczne używane w korelacjach na współczynnik wnikania ciepła dla wrzenia wody i metanolu z powierzchni płaskiej. Przedstawiono wizualizacje powstawania pęcherzy oraz wyniki pomiarów cieplnych procesu wrzenia z danych struktur rozwiniętych. Struktura o kanale kwadratowym i największym przekroju charakteryzuje się dziesięciokrotnym wzrostem współczynnika wnikania ciepła w porównaniu do powierzchni płaskiej. Pozostałe zbadane powierzchnie intensyfikują wymianę ciepła dwu- do pięciu-krotnie w stosunku do powierzchni płaskiej. Pęcherze powstające z najlepszej struktury są o rząd wielkości mniejsze od pęcherzy powstających z pozostałych struktur.

*Robert Pastuszko*