



Doctoral Thesis

An analytical and numerical study of condensing vapor bubbles in liquid pools

Author(s):

Davis, Jeffrey Adam

Publication Date:

2004

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004844209> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH No. 15604

**An analytical and numerical study of condensing vapor
bubbles in liquid pools**

A dissertation submitted to the

SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

JEFFREY ADAM DAVIS

M.A.Sc. University of Toronto

born on 06.04.1974

citizen of Canada

accepted on the recommendation of

Prof. George Yadigaroglu, Zurich, examiner

Prof. Dimos Poulikakos, Zurich, co-examiner

2004

Abstract

The injection of a vapor into a subcooled liquid pool offers a passive safety feature for the emergency cooling of a European Simplified Boiling Water Reactor (ESBWR). This study focuses on one region in which the vapor bubbles collapse through direct contact condensation. Specifically, this study deals mainly with the rise of two interacting condensing bubbles. This problem is solved numerically in 2d using an incompressible flow solver and a hybrid Volume of Fluid algorithm to update the bubble's topology. Heat and mass transfer is included using a pre-defined correlation for the mass flux which is obtained by numerically solving a simpler problem of two condensing Hiemenz flow boundary layers for both saturated and superheated vapor in a subcooled liquid. This parameteric study concluded that condensation is governed by variables on the liquid side through the liquid Prandtl and Jacob numbers. Weak dependence on the density and viscosity ratio was noted. Having obtained the correlation for the mass flux, the remainder of the thesis dealt with the problem of two bubbles rising for both the non-condensing and the condensing cases. To quantify the results, the time at which the two bubbles coalesced was primarily used. Other quantities considered were the evolution of the bubble's topology, streamlines, bubble centroidal position, rise velocity, and surface area. Results of the non-condensing case show that the presence of a wall increased the time at which the bubbles coalesced. It was also found that an increase in the coalescence time was obtained through an increase in the distance between bubbles, an increase of the relative orientation angle, or a decrease of the relative volume ratio of the leading to the following bubble. The study of the evolution of the bubbles surface area revealed that coalescence of the bubbles leads to a significant decrease of their total surface area. The following bubble's surface area was found to increase before detachment from a wall. The surface area of the following bubble also increased as the two bubbles approached one another. Results of the condensing-flow case reveal that the flow field and the evolution of the two bubbles produced similar results compared with the non-condensing simulations. Condensation, however, resulted in a decrease in the acceleration of the following bubble towards the leading one and a decrease of the following bubble's maximum rise velocity which led to an increase in the time to coalescence of the two bubbles. Based on a mass flux correlation based on the variable bubble rise velocity and diameter, three stages of the process were identified giving insight to the transient evolution of the mass flux. Finally, the variation of the initial bubble positioning was found to have little effect on the final total volume of the bubbles.

Zusammenfassung

Die Einblasung eines Dampfes in ein unterkühltes Flüssigkeitsbad eignet sich als passives Sicherheitssystem für die Notkühlung des European Simplified Boiling Water Reactor. Diese Studie untersucht diejenige Region, wo das Auseinanderbrechen der Dampfblase durch Direktkontakt-Kondensation erfolgt. Insbesondere untersucht die Studie das Aufsteigen von zwei interagierenden, kondensierenden Blasen. Das Problem wird numerisch in 2d mittels einer inkompressiblen Strömungssimulation und unter Verwendung eines hybriden Volume-of-Fluid-Algorithmus zur Verfolgung der räumlichen Struktur der Blasen gelöst. Wärme- und Massenübergang werden mittels einer vorgängig bestimmten Korrelation für den Massenstrom berücksichtigt. Diese Korrelation wurde durch die numerische Lösung des einfacheren Problems von zwei kondensierenden Hiemenz-Strömungsgrenzschichten für gesättigten und für überhitzten Dampf ermittelt. Die Parameter-Studie ergab, dass die Kondensation durch flüssigkeitsseitige Variablen beherrscht wird, namentlich durch die Prandtl- und Jacob-Zahlen in der Flüssigkeit. Eine geringe Abhängigkeit vom Dichte- und Viskositätsverhältnis wurde beobachtet. Neben der Korrelation für den Massenübergang behandelt die Arbeit das Problem von zwei aufsteigenden Blasen für die Fälle ohne und mit Kondensation. Der Zeitpunkt der Vereinigung der beiden Blasen diente als primäre Grösse zur Bewertung der Resultate. Weiter wurden die Entwicklung der räumlichen Blasenstruktur, die Stromlinien, die Position des Blasen-Schwerpunktes, die Steiggeschwindigkeit, sowie die Oberfläche der Blasen beobachtet. Die Resultate für den Fall ohne Kondensation zeigen, dass eine nahe gelegene Wand die Vereinigung der Blasen hinauszögert. Weiter wurde beobachtet, dass sich die Vereinigung der Blasen mit zunehmender Distanz zwischen den Blasen, mit zunehmendem Anordnungswinkel und mit abnehmendem [relativem] Volumenverhältnis der führenden zur nachfolgenden Blase verzögert. Die Studie der Entwicklung der Blasenoberfläche offenbarte, dass durch die Vereinigung der Blasen die gesamte Oberfläche signifikant verkleinert wurde. Die Oberfläche der nachfolgenden Blase vergrössert sich vor der Ablösung von einer Wand. Ebenso vergrössert sich die Oberfläche der nachfolgenden Blase bei der Annäherung der beiden Blasen. Die Resultate für den Fall mit Kondensation zeigten ein Strömungsfeld und eine Entwicklung der Blasen vergleichbar mit dem Fall ohne Kondensation. Die Kondensation bewirkte jedoch eine reduzierte Beschleunigung der nachfolgenden Blase hin zu der führenden Blase, sowie eine Reduktion der maximalen Steiggeschwindigkeit der führenden Blase, wodurch sich die Vereinigung der beiden Blasen verzögert. Basierend auf der variablen Massenübergangskorrelation und der Steiggeschwindigkeit der Blase wurden drei Stufen identifiziert, welche die unstetige Entwicklung des Massenübergangs aufzeigen. Schliesslich wurde beobachtet, dass die anfängliche Blasenordnung wenig Einfluss auf das endgültige Gesamtvolumen der Blasen hat.