

ẢNH HƯỞNG CỦA DẠNG HÌNH HỌC LƯỚI GIẰNG LÊN QUÁ TRÌNH TẢI NHIỆT TỪ NHIÊN LIỆU TRONG THỰC NGHIỆM MATIS-H SỬ DỤNG PHẦN MỀM ANSYS CFX

TRẦN VĂN TRUNG, CAO ĐÌNH HƯNG

Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân, 179 Hoàng Quốc Việt, Nghĩa Đô, Cầu Giấy, Hà Nội
tranvan_trung551987@yahoo.com, caohung191@gmail.com

Tóm tắt: Trong an toàn lò phản ứng và nhà máy điện hạt nhân thì việc tải nhiệt từ các bó nhiên liệu là rất quan trọng. Dạng hình học lưới giằng là một trong nhiều yếu tố ảnh hưởng tới quá trình tải nhiệt này. Hình dạng của các lưới giằng ảnh hưởng trực tiếp đến dòng chảy cũng như phân bố của dòng chảy và điều này ảnh hưởng đến quá trình trao đổi nhiệt của thanh nhiên liệu và nước làm mát. Bài báo đã sử dụng phần mềm ANSYS mô phỏng lại bài toán dựa trên thực nghiệm MATIS-H và đưa ra kết quả về trường xoáy, dự đoán trường nhiệt độ trong mô hình bó nhiên liệu và sử dụng hai dạng lưới giằng khác nhau. Từ các kết quả mô phỏng thu được có thể đánh giá ảnh hưởng của dạng hình học lưới giằng bó nhiên liệu lên quá trình tải nhiệt.

Từ khóa: *tính toán động học chất lỏng, ANSYS, tải nhiệt từ nhiên liệu*

I. MỞ ĐẦU

Tình hình hiện tại khi công nghệ nhà máy điện hạt nhân càng cao thì đòi hỏi con người càng phải tính toán chi tiết đến vấn đề an toàn. Song song với được đó là các nước cho xây dựng các hệ thực nghiệm nhằm cải tiến thiết kế đưa hiệu quả sử dụng lên cao. Trong bối cảnh đó thực nghiệm MATIS-H được xây dựng tại Hàn Quốc để khảo sát dòng chảy rối trong lĩnh vực an toàn thủy nhiệt. Tuy thực nghiệm đã được xây dựng và mô phỏng tại Hàn Quốc nhưng đối với Việt Nam thì vẫn còn mới mẻ. Do đó chúng tôi viết bài này để mô phỏng lại thực nghiệm đối với bó 2x2 cùng với kênh tải nhiệt là như nhau. Trong bài này chúng tôi xây dựng mô hình dựa trên thực nghiệm MATIS sử dụng phần mềm ANSYS. Bài toán chạy trong hai trường hợp với hai loại cánh của spacer khác nhau đưa ra các kết quả về dòng đối và phân bố của trường nhiệt độ qua hai trường hợp. Hạn chế là trong bài viết chỉ mô phỏng bó 2x2 nên ít kết quả có thể so sánh được với bó 5x5 của nhóm tác giả xây dựng hệ thực nghiệm MATIS-H do không cùng tương đồng về vị trí và kích thước.

II. NỘI DUNG

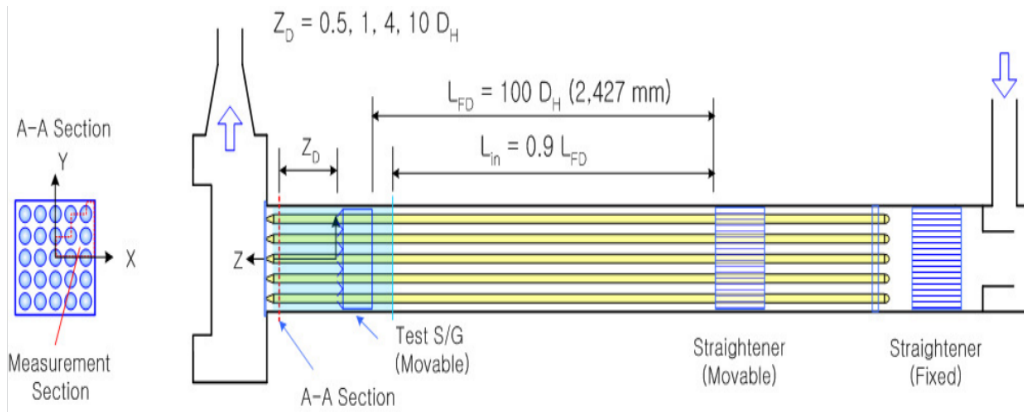
1. Hệ thực nghiệm MASTIS và mô hình bài toán trong phần mềm ANSYS

a. Hệ thực nghiệm MASTIS

Hệ thực nghiệm MATIS-H (Measurements and Analysis of Turbulence in Subchannels – Horizontal) được xây dựng tại Viện Nghiên cứu Năng lượng nguyên tử Hàn Quốc (KAERI). Thực nghiệm MATIS-H tiến hành với mục đích kiểm tra khả năng của các chương trình tính toán động học chất lưu nhằm dự đoán các thông số dòng rối của dòng chảy chất tải nhiệt khi đi qua cùng một bó nhiên liệu với các hình học lưới giằng khác nhau. Phần thực nghiệm của hệ là một kênh có kích thước 170x170x4670 mm, với mặt cắt ngang là hình vuông gồm 5x5 thanh mô phỏng thanh nhiên liệu hạt nhân. Các thanh này có chiều dài 3863 mm, đường kính mỗi thanh là 25,4 mm và không được gia nhiệt.

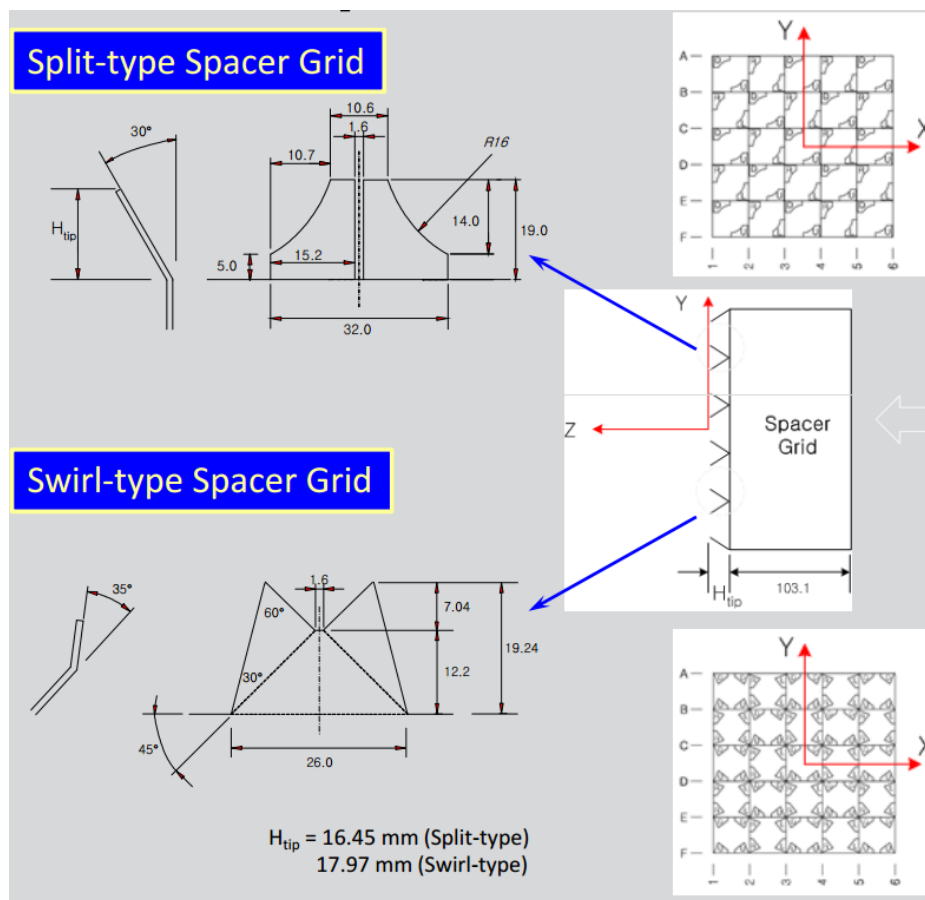
Thực nghiệm được tiến hành với hai thiết kế lưới giằng, kiểu lưới giằng có cánh phân tách (split type spacer grid) và kiểu lưới giằng có cánh tạo xoáy (swirl type spacer grid), các thông số của thiết kế lưới giằng thể hiện trong hình 2.

Sau đây là hình vẽ mô tả các thông số hình học của thực nghiệm và hai loại lưới giằng được lắp đặt trong quá trình thử nghiệm.



Hình 1. Sơ đồ khối hệ thực nghiệm MASTiS-H

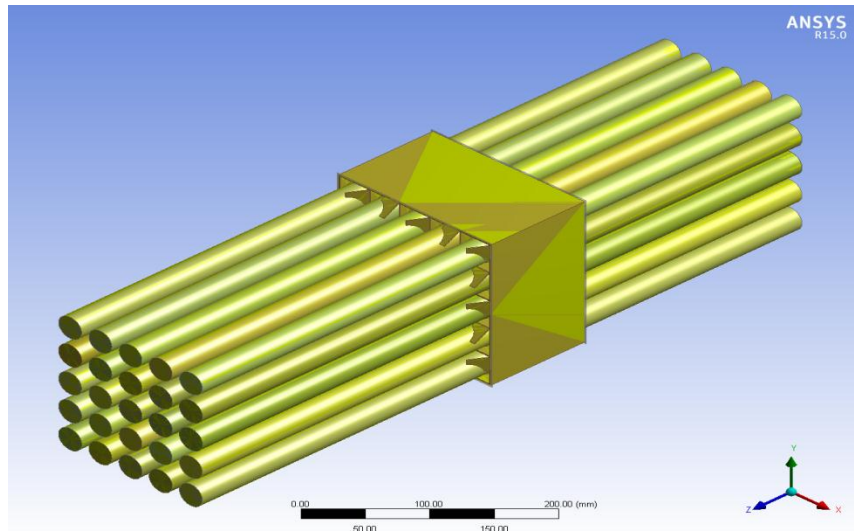
Các thông số điều kiện biên trong hệ thực nghiệm MASTiS-H: nhiệt độ của đường nước cấp vào là 35 °C với vận tốc 1,5 m/s ở áp suất 1,5 bar.



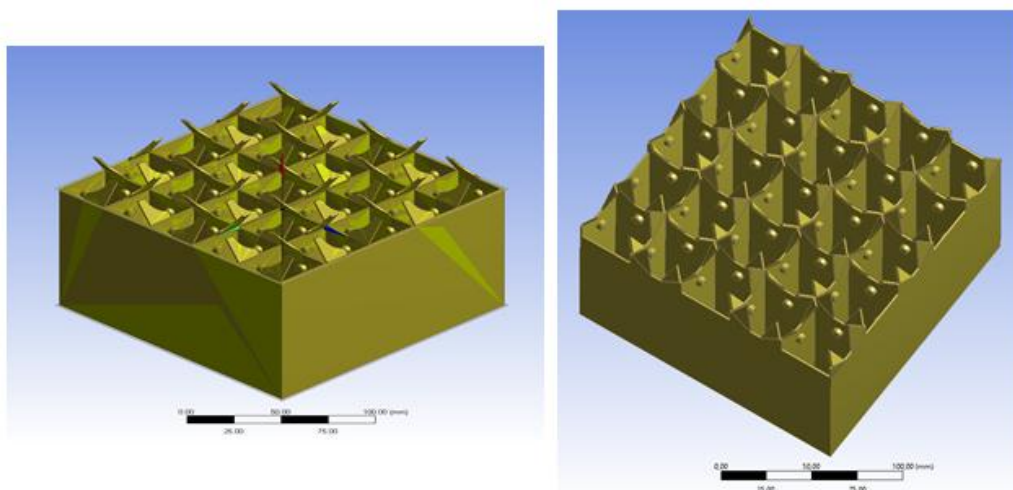
Hình 2. Thông số hình học 2 loại spacer

b. Mô hình bài toán trong phần mềm ANSYS.

Mô hình hình học được xây dựng trong phần mềm ANSYS.

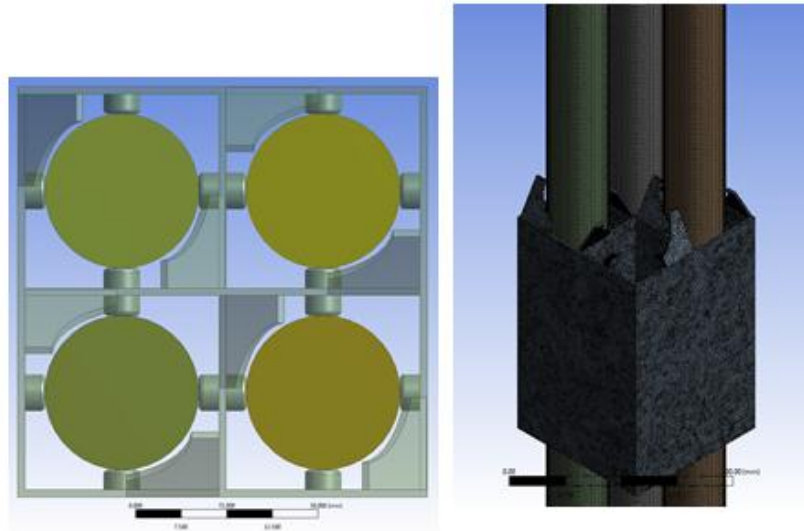


Hình 3. Mô hình bó 5x5 xây dựng trong ANSYS

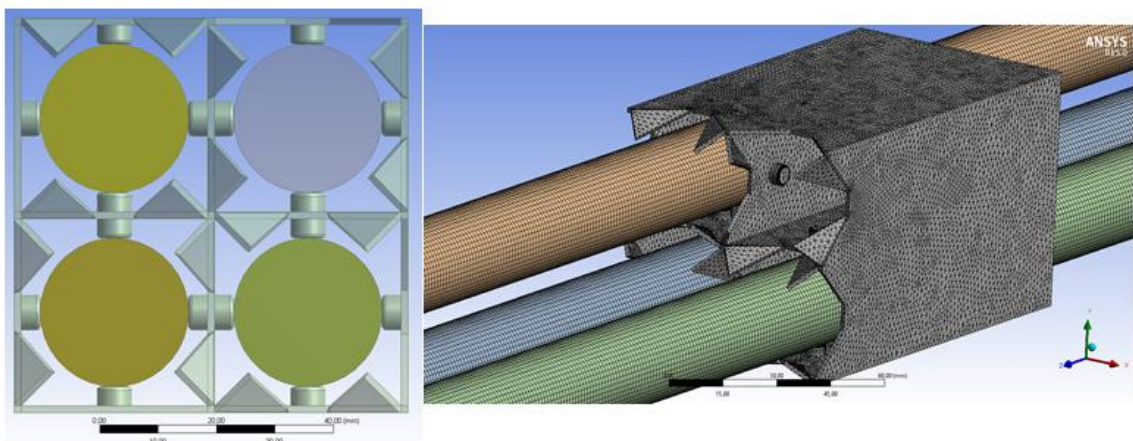


Hình 4. Mô hình 2 loại lưới giăng

Trong quá trình thiết lập bài toán, Chúng tôi chỉ tính đến bó 2x2 với kích thước của kênh tải nhiệt là như nhau. Và do đó mô hình thực để chạy được thể hiện dưới hình sau.



Hình 5. Bó 2x2 ứng với loại lưới giằng có cánh phân tách (split-type spacer grid)



Hình 6. Bó 2x2 ứng với loại lưới giằng có cánh tạo xoáy (swirl-type spacer grid)

Hình 5 và 6 ở trên thể hiện mô hình hóa cùng với việc lưới hóa của bó thanh 2x2 với hai loại lưới giằng khác nhau. Do việc trong mô hình có nhiều chi tiết nhỏ nên ở đây chúng tôi chỉ chia lưới tự động và hạn chế các thành phần lưới có chất lượng xấu một cách thấp nhất nhưng vẫn đảm bảo được bài toán chạy được. Số nút tính toán trong mô hình là 1876779 đánh giá lưới theo tiêu chuẩn skewness trung bình là 0.228

c. Các phương trình chủ đạo dùng được thể thiết lập mô hình toán

Như chúng ta đã biết khi giải quyết một bài toán động học chất lưu thì chúng phải tuân theo ba phương trình là phương trình liên tục, phương trình bảo toàn năng lượng và phương trình bảo toàn mô men động lượng cùng với mô hình dòng chảy rối k-Epsilon.

- Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U}) = 0$$

- Phương trình bảo toàn mô men động lượng

$$\frac{\partial (\rho \mathbf{U})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U} \otimes \mathbf{U}) = -\nabla p + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + \mathbf{S}_M$$

- Phương trình bảo toàn năng lượng

$$\frac{\partial (\rho h_{\text{tot}})}{\partial t} - \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U} h_{\text{tot}}) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + \nabla \cdot (\mathbf{U} \cdot \boldsymbol{\tau}) + \mathbf{U} \cdot \mathbf{S}_M + \mathbf{S}_E$$

Trong đó:

ρ là khối lượng riêng,

λ là độ dẫn nhiệt

\mathbf{U} là véc-tơ vận tốc

T là nhiệt độ

p là áp suất tĩnh,

\mathbf{S}_M là mô men nguồn

$\boldsymbol{\tau}$ là ten-xơ ứng suất trượt

\mathbf{S}_E là năng lượng nguồn

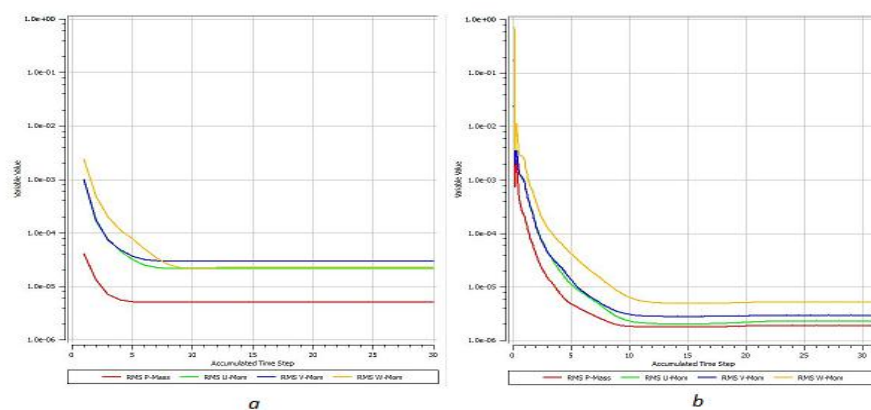
h_{tot} là entanpi tổng

Sau đó chúng ta chia nhỏ mô hình thành các phần tử và dùng phương pháp số để giải sấp xỉ chúng. Ứng với điều kiện biên cho bài toán trong ANSYS như sau:

- Nhiệt độ của nước cấp là 35 °C
- Vận tốc đầu vào là 1,5 m/s
- Áp suất của hệ là 1,5 bar
- Nguồn nhiệt 90 W/cm³

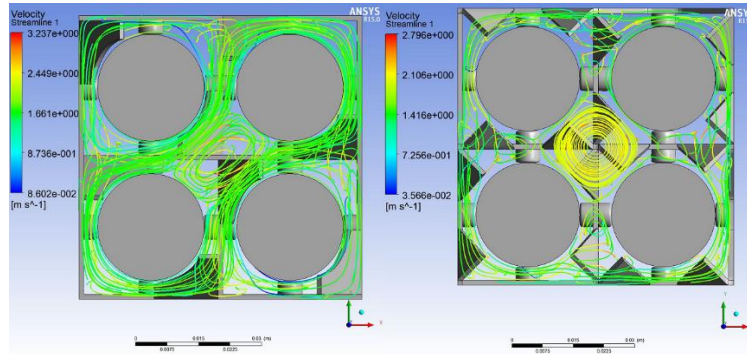
2. Kết quả tính toán.

Sau khi chạy bài toán đạt tới sự hội tụ 10^{-5} trong 30s chúng tôi đưa ra được một số kết quả sau

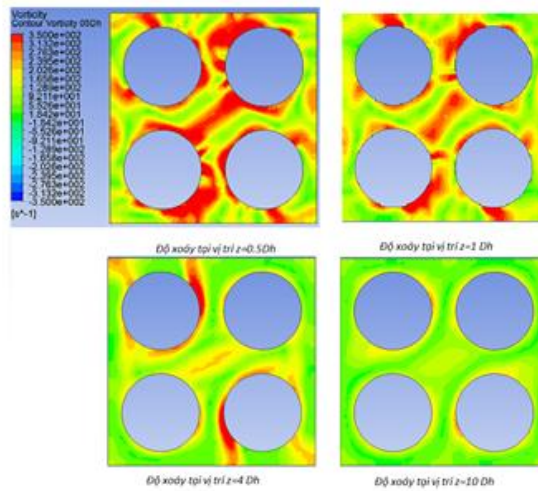


Hình 7a và 7b. Đồ thị độ hội tụ trong hai trường hợp mô phỏng sử dụng hai dạng lưới giằng “split-type” và “swirl-type”

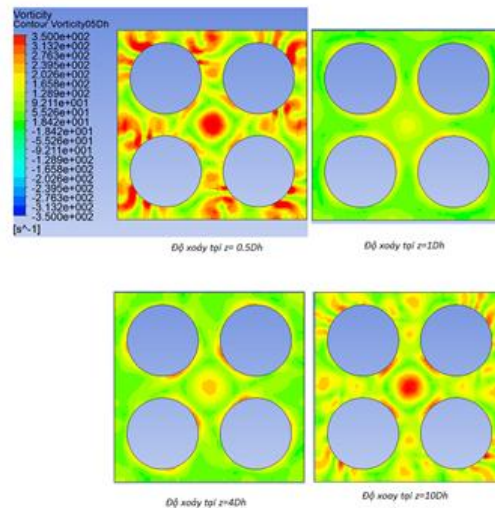
a. Kết quả độ xoáy trong hai trường hợp ứng với hai loại spacer khác nhau



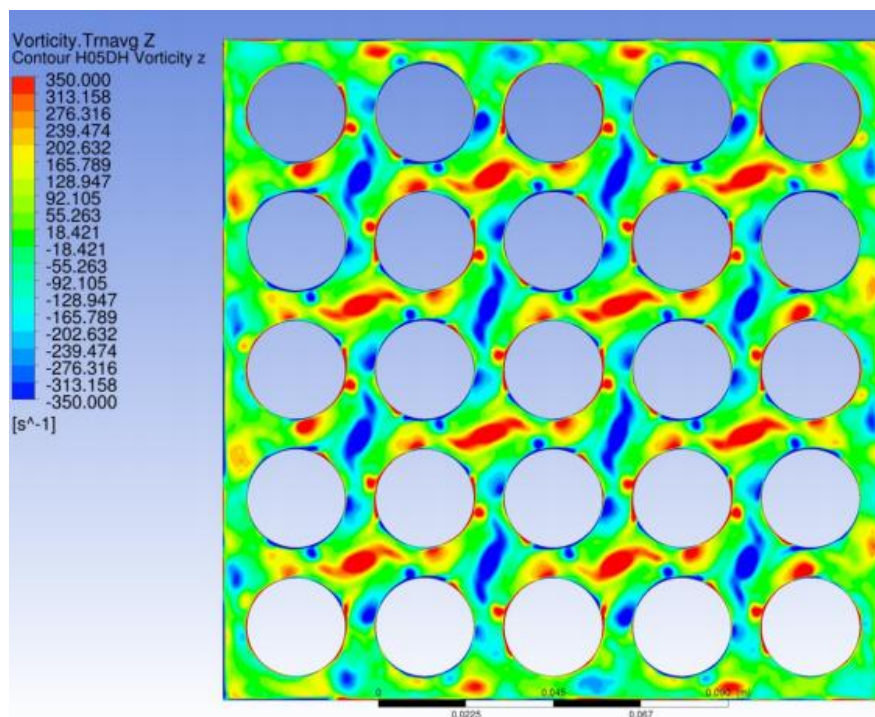
Hình 8. Trường xoáy ứng với hai loại lưới giằng



Hình 9. Bốn mặt cắt trường xoáy tương ứng với các vị trí $z = 0.5Dh, 1Dh, 4Dh, 10Dh$ đối với lưới giằng “split-type”



Hình 10. Bốn mặt cắt trường xoáy tương ứng với các vị trí $z = 0.5Dh, 1Dh, 4Dh, 10Dh$ đối với lưới giằng “swirl-type”



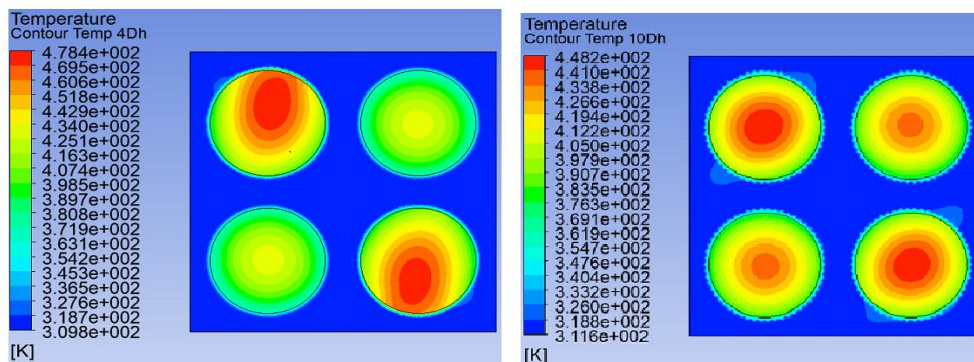
Hình 11. Kết quả mô phỏng trong thực nghiệm MASTiS-H đối lưới giằng “split-type”

Từ kết quả trong hình 7 chúng ta thấy rằng sự khác biệt về dòng chảy trong 2 loại spacer khác nhau, Trong cả hai trường hợp độ xoáy lớn nhất tại vị trí trung tâm giữa các thanh nhưng khi sử dụng spacer-swirl cho trường xoáy đồng đều hơn là khi sử dụng spacer-split. Hình 8 và 9 cho kết quả cắt mặt cắt về trường xoáy đối với hai loại spacer xét trong bài.

Do chúng tôi thu thập được ít thông số về thực nghiệm nên chúng tôi chỉ so sánh được kết quả trường xoáy trong trường hợp sử dụng spacer-split cùng với kết quả mô phỏng trong bài báo có tên được chính dẫn trong tài liệu tham khảo [1]. Qua kết quả thấy rằng trường xoáy tại vị trí giữa các bó thanh là lớn nhất. Tuy nhiên ở đây cũng chỉ so sánh được tương đối về hiện tượng luận chứ không có số liệu chính xác

b. Trường nhiệt độ ở một số mặt cắt của mô hình

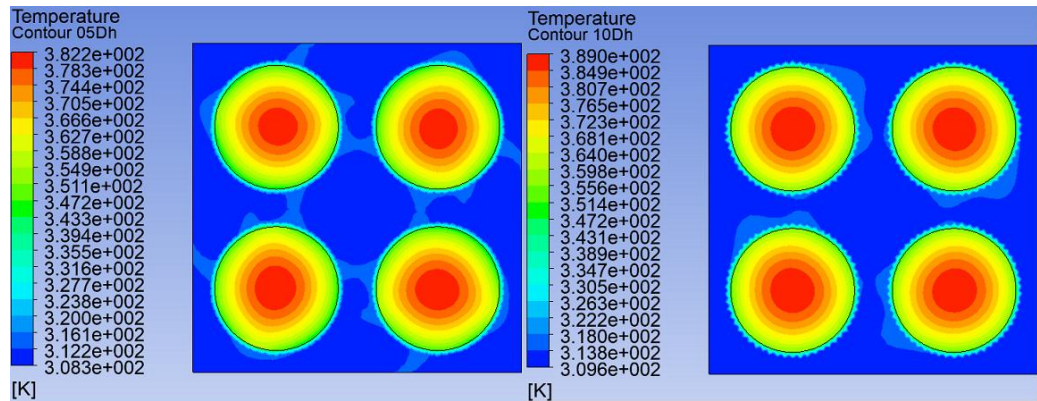
Tuy trong bài báo được trích dẫn ở tài liệu tham khảo [1] chỉ đưa ra kết quả về trường xoáy nhưng ở đây chúng tôi đưa thêm nhiệt độ vào các thanh và tiên đoán về trường nhiệt độ, kết quả về trường nhiệt độ được thể hiện ở hình 11 và 12.



Trường nhiệt độ tại mặt cắt $z=0.5Dh$

Trường nhiệt độ tại mặt cắt $z=10Dh$

Hình 12. Kết quả trường nhiệt độ đối với loại lưới giằng “split-type” tại vị trí $z=0.5Dh$ và $10Dh$



Trường nhiệt độ tại vị trí $z=0.5 Dh$

Trường nhiệt độ tại vị trí $z=10 Dh$

Hình 13. Kết quả trường nhiệt độ đối với loại lưới giằng “swirl-type” tại vị trí $z=0.5 Dh$ và $10Dh$

Qua kết quả ở hình 11 và 12 chúng ta thấy rằng trường xoáy đều hơn thì sự lấy nhiệt từ các thanh là đồng đều hơn ứng với loại spacer-swirl còn đối với loại spacer-split thì không đồng đều thể hiện ở các mặt cắt trên hình. Tuy nhiên nhiệt đối với loại spacer-split thì lượng nhiệt lấy ra được nhiều hơn

III. KẾT LUẬN

Bài viết này nhóm tác giả đã dựa trên thực nghiệm bó thanh nhiên liệu 5x5 trong thực nghiệm MATiS-H để mô phỏng bó nhiên liệu 2x2 cùng với kích thước của kênh tải nhiệt là như nhau. Đưa ra một số kết quả về trường xoáy tại các mặt cắt đằng sau lưới giằng tạo dòng chảy rối và so sánh trường xoáy với kết quả mô phỏng của nhóm tác giả của thực nghiệm MASTiS-H. Đưa thêm phần mô phỏng của quá trình tải nhiệt của nước dự đoán kết quả trường nhiệt độ qua hai loại spacer.

Hạn chế của bài báo là bước đầu chỉ mô phỏng được bó 2x2 nên việc so sánh với kết quả thực nghiệm là không tương thích chỉ có thể so sánh được về mặt hiện tượng luận. Tuy nhiên đây cũng là bước đầu tiên, tiếp theo nhóm sẽ mô phỏng thực nghiệm bó 5x5 hoặc là nghiên cứu lại các điều kiện biên phù hợp để tiện cho việc đánh giá.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. The OECD/NEA MATiS-H Benchmark CFD Analysis of water through a 5x5 rod bundle with spacer grids using ANSYS.
2. Transport Equation/ Governing Equations / Theory Guide/ CFX/ ANSYS Documentation.
3. D.I. Chang., 2012. Technical report Internatioanl CFD Benchmark Problem Turbulent Flow in a Rod bundle with Spacers.

EFFECTS OF GEOMETRY SPACER GRID TO REMOVING HEAT PROCESS FROM FUEL BUNDLE IN EXPERIMENTAL MASTIS-H USING ANSYS SOFTWARE

Abstract: In the safety of reactors and nuclear power plants, it is important to loading heat from fuel bundles. The geometry of spacer grid is one of many factors affecting this process heat load. The geometry of the spacer grid affects to flow as well as distribution of the flow and this affects to heat exchange of the fuel rod with cooling water. The paper used ANSYS software to simulate the problem based on the MASTIS-H experiment and the results show a vortex field, predicts the temperature field in the fuel bundle model using two different spacer grid. From the simulation results obtained, we can evaluate the effect of the spacer grid geometry to the loading heat process.

Keywords: *computational fluid dynamic, removing heat process, ANSYS, spacer grid*