

ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỘ PHẢN ỨNG KHI NƯỚC ĐƯỢC CHIẾM CHỖ KHÔNG KHÍ TRONG CÁC KÊNH CHIẾU MẪU ĐỨNG KHÔ CỦA Lò PHẢN ỨNG HẠT NHÂN ĐÀ LẠT

DAU DUC TU, LE VINH VINH, HUYNH TON NGHIEM, NGUYEN KIEN CUONG,
NGUYEN MINH TUAN, TRAN QUOC DUONG, BUI PHUONG NAM

*Reactor Center, Dalat Nuclear Research Institute, VINATOM
01 Nguyen Tu Luc St, Dalat, Lamdong, Vietnam
E-mail: tudd.re@dnri.vn*

Tóm tắt: Trong thời gian vận hành lò phản ứng, một sự cố thủng các kênh chiếu mẫu khí nén kênh 7-1 và 13-2 do ăn mòn hoặc nhiều lý do khác có thể xảy ra, vì vậy việc xác định độ phản ứng đưa vào vùng hoạt khi nước chiếm chỗ không khí trong hai kênh trên có vai trò quan trọng trong việc vận hành an toàn lò phản ứng. Bài báo này trình bày việc áp dụng phương pháp Monte-Carlo (NCNP5), thư viện ENDF/B VII.0 và chương trình mô phỏng Eureka để thực hiện các mục đích nói trên. Các kết quả tính toán lý thuyết đã xác định được độ phản ứng đưa vào vùng hoạt theo thời gian khi thủng các kênh chiếu mẫu. Từ đó xác định sự thay đổi của công suất lò cũng như sự thay đổi nhiệt độ bề mặt của thanh nhiên liệu.

Từ khóa: MCNP, Eureka, độ phản ứng, động học lò, lò phản ứng

I. GIỚI THIỆU.

1. Lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt.

Lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt có công suất 500 kW là loại lò bể bơi sử dụng nước thường cho cả hai chức năng làm chậm và làm nguội được đưa vào vận hành từ 03/1984. Nó được xây dựng lại trên cơ sở lò TRIGA MARK II (Mỹ) đã được xây dựng và đưa vào vận hành từ năm 1963. Nhiều cấu kiện như tường beton cản xạ, thùng lò, vành phản xạ graphite và các kênh thí nghiệm nằm ngang, ... vẫn được giữ lại từ lò cũ.

Vùng hoạt lò nạp tải nhiên liệu VVR-M2 là nhiên liệu bằng hợp kim Al-U có độ giàu cao (HEU) 36% từ 03/1984 đến 12/2011 và nhiên liệu bằng UO_2+Al có độ giàu thấp (LEU) 19.75% có 12 thanh berili ở vùng trung tâm từ 12/2011 đến nay. Mỗi bó nhiên liệu có 3 ống đồng trục, trong đó ống ngoài cùng có dạng hình lục giác còn hai ống trong hình tròn. Các thanh berili sử dụng trong LPU có tiết diện hình lục giác với kích thước là 32 mm [1].

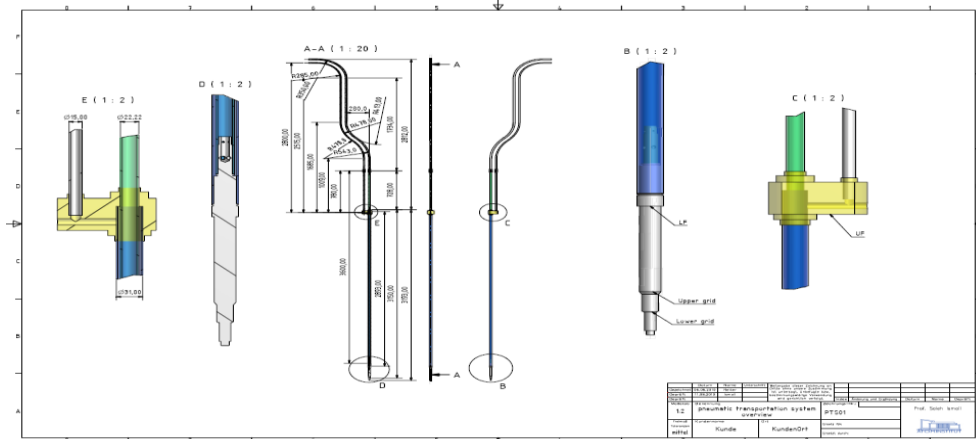
2. Kênh chiếu mẫu khí nén kênh 7-1, kênh 13-2.

Hai kênh chiếu mẫu đứng khô (còn được gọi là hai kênh chiếu mẫu khí nén) nằm ở các ô 7-1 và 13-2 trong vùng hoạt được sử dụng chủ yếu cho việc phân tích kích hoạt neutron. Mẫu phân tích được đóng gói trong các lọ nhỏ hoặc box chuyên dụng sau đó đặt chúng vào con chuột làm bằng nhựa tổng hợp và được đưa vào các kênh khô nhờ các hệ thống chuyên

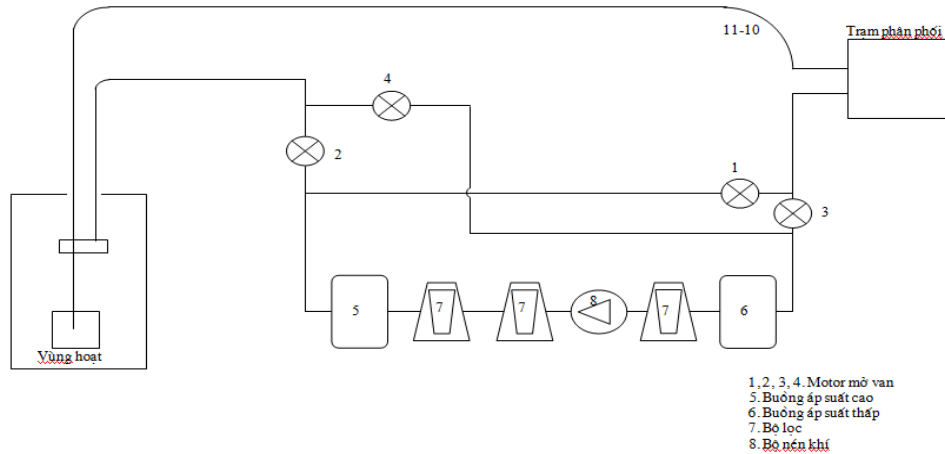
mẫu khí nén. Tại hai kênh này mẫu thường được chiếu trong khoảng thời gian ngắn từ 5 giây đến 5 phút để xác định các nguyên tố thông qua các đồng vị sống ngắn. Hệ thống chuyển mẫu kênh chiếu xạ 7-1 vận hành theo chế độ điều khiển từ xa dùng trạm phát lệnh di chuyển mẫu đặt ở phòng 125 của nhà số 1. Hệ thống chuyển mẫu kênh chiếu xạ 13-2 được sử dụng cho phân tích nhanh, trạm điều khiển chuyển và đo mẫu được đặt ngay trong gian nhà lò [2]. Vị trí dưới cùng của kênh 7-1 và kênh 13-2 nằm thấp hơn so với tâm vùng hoạt là 5 cm như thể hiện trong hình 4.

Bảng 1. Đặc trưng của các kênh chiếu xạ đứng khô 7-1 và 13-2 [2].

Đặc trưng	Kênh 7-1	Kênh 13-2
Thông lượng neutron nhiệt, n/cm ² /s	$(3,8 \div 4,4) \times 10^{12}$	$(3,8 \div 4,2) \times 10^{12}$
Thông lượng neutron trên nhiệt, n/cm ² /s	$(4,0 \div 4,5) \times 10^{11}$	$(3,7 \div 4,1) \times 10^{11}$
Thông lượng neutron nhanh, n/cm ² /s	$(3,0 \div 5,0) \times 10^{12}$	$(3,0 \div 6,0) \times 10^{12}$
Khối lượng cực đại của mẫu chiếu, gram	20	4
Thời gian chiếu xạ (min.), sec	45	5
Thời gian chiếu xạ (max.)	20 phút	30 phút
Tốc độ di chuyển mẫu, m/s	10	20



Hình 1. Cấu trúc ống chiếu mẫu khí nén kênh 13-2 [2].



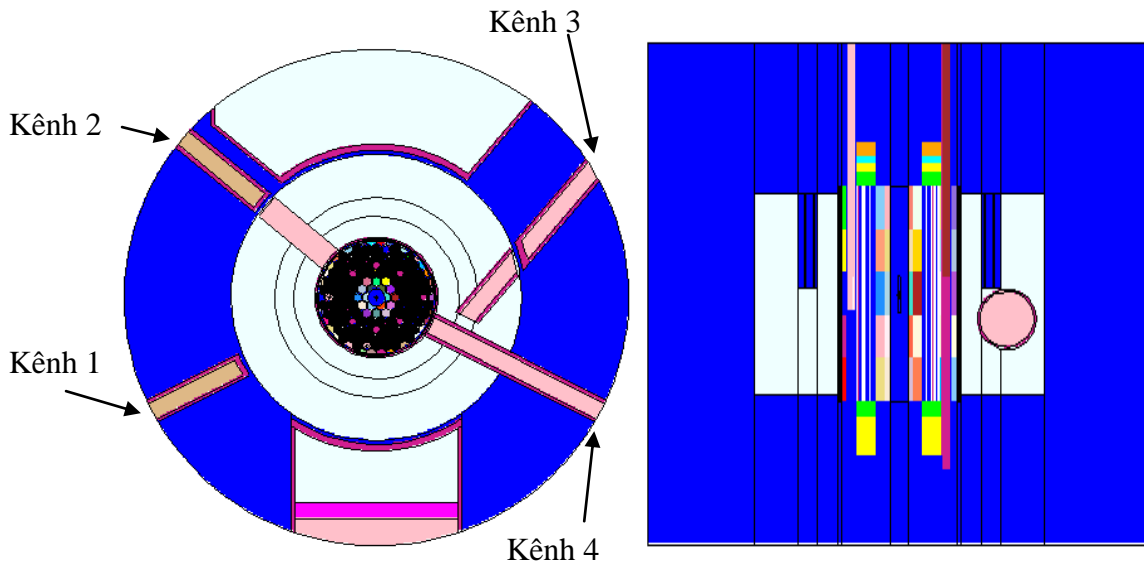
Hình 2. Hệ chiếu mẫu khí nén kênh 7-1 [2].

Trong điều kiện vận hành bình thường, khả năng thủng các kênh chiếu mẫu khí nén do sự ăn mòn hoặc nhiều lý do khác có thể xảy ra và trong báo cáo này một kịch bản thủng các kênh chiếu mẫu với đường kính lỗ thủng là 2 mm. Và với cấu hình vùng hoạt của lò phản ứng Đà Lạt như hiện tại thì sẽ đưa vào vùng hoạt độ phản ứng dương, với độ phản ứng dương đưa vào thì công suất của lò phản ứng và nhiệt độ trong thanh nhiên liệu sẽ thay đổi. Vì vậy việc phân tích các kịch bản với độ phản ứng dương đưa vào theo thời gian để xem xét đến các vấn đề an toàn trong vận hành lò phản ứng.

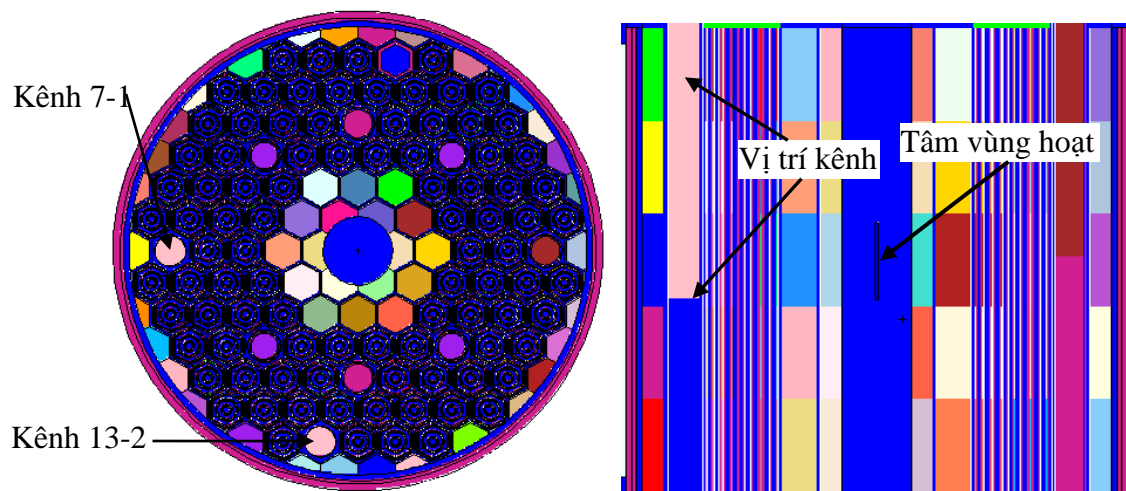
Để tính toán độ phản ứng phụ thuộc thời gian với kịch bản như trên, trong báo cáo này chương trình MCNP và thư viện ENDF/B VII.0 được sử dụng. Tác giả cũng sử dụng chương trình mô phỏng EUREKA để tính toán sự thay đổi công suất của lò phản ứng và nhiệt độ của nhiên liệu [4].

II. MÔ HÌNH MCNP VÀ EUREKA CHO Lò ĐÀ LẠT

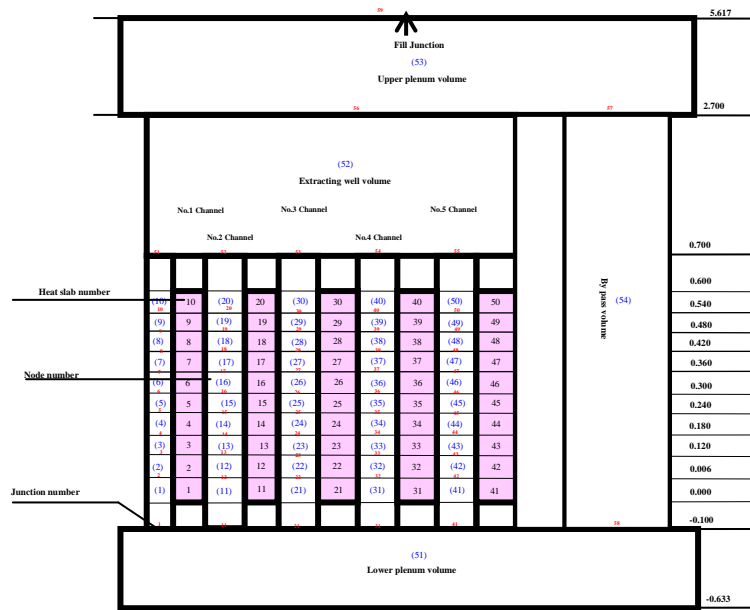
Trong nghiên cứu này, vùng hoạt và các cấu kiện bên trong của lò như các thanh điều khiển, thanh chèn berili, vành phản xạ graphite, các kênh chiếu mẫu khí nén, các kênh ngang, cột nhiệt, cột nhiệt hóa,... được mô hình hóa một cách chi tiết về kích thước hình học và thành phần vật liệu. Hình 3 trình bày mô hình MCNP5 mặt cắt ngang và đứng của lò Đà Lạt và Hình 4 trình bày mô hình MCNP5 cấu hình nạp tải 92 bó nhiên liệu độ giàu thấp (LEU) và vị trí các kênh chiếu mẫu khí nén trong vùng hoạt của lò [3].



Hình 3. Mô hình MCNP5 mặt cắt ngang và đứng của lò Đà Lạt



Hình 4. Mô hình MCNP5 cấu hình nạp tải 92 bó nhiên liệu độ giàu thấp (LEU) và kênh chiếu mẫu khí nén của lò Đà Lạt



Hình 5. Sơ đồ node của chương trình EUREKA cho lò Đà Lạt [4]

Với kích bản thùng các kênh chiều mẫu khí nén trong vùng hoạt, phương trình (1) được dùng để tính chiều cao cột nước (h) phụ thuộc vào thời gian (t) qua các thông số L, S₁, S₂.

$$h = L - \left[\sqrt{L} - \frac{S_1 \sqrt{2g}}{2S_2} t \right]^2 \quad (1)$$

Trong đó:

- L: Chiều cao từ tâm vùng hoạt đến mặt nước bề lò
- h: Chiều cao cột nước trong ống kênh chiều mẫu (phụ thuộc thời gian kể từ lúc sự cố bắt đầu xảy ra)
- S₁: Tiết diện bị rò nước
- S₂: Tiết diện ống kênh chiều mẫu
- g: Gia tốc trọng trường
- V: Vận tốc nước qua tiết diện S₁ (phụ thuộc thời gian)

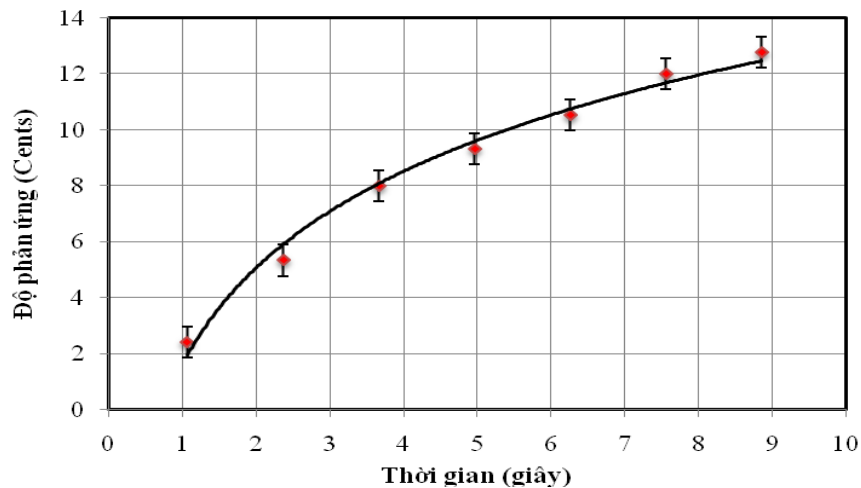
III. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN VÀ THẢO LUẬN

Các tính toán MCNP5 cho lò Đà Lạt đã được thực hiện cả với cấu hình nạp tải 92 bó nhiên liệu độ giàu thấp (LEU). Mô hình tính toán tới hạn (KCODE) và thư viện ENDF/B-VII.0 được lựa chọn. Kết quả tính toán được trình bày trong Bảng 3.

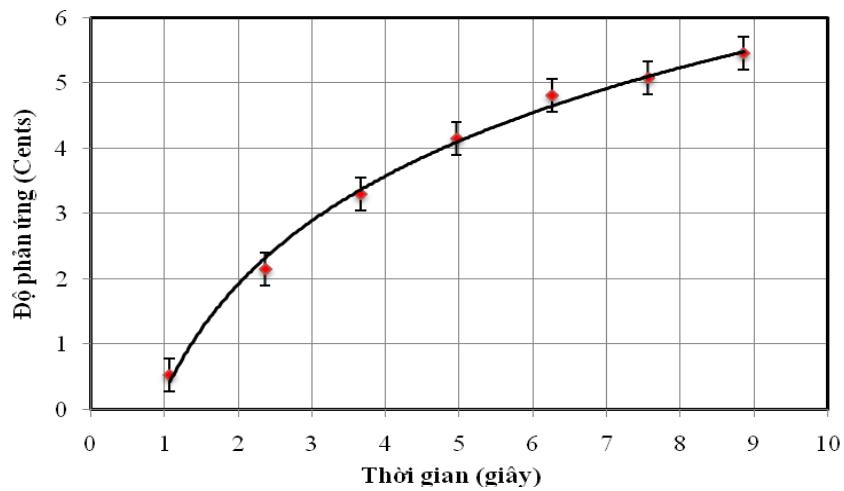
Bảng 2. Độ phản ứng phụ thuộc thời gian cho kênh 7-1 và kênh 13-2 khi nước chiếm chỗ không khí

Thời gian (giây)	Độ phản ứng kênh 7-1 (cents)	Độ phản ứng kênh 13-2 (cents)
1	1.62 ± 0.02	0.35 ± 0.03
2	5.07 ± 0.05	1.96 ± 0.05
3	7.09 ± 0.04	2.90 ± 0.09
4	8.52 ± 0.06	3.57 ± 0.09
5	9.63 ± 0.05	4.09 ± 0.08
6	10.54 ± 0.07	4.51 ± 0.06
7	11.31 ± 0.07	4.87 ± 0.05
8	11.97 ± 0.06	5.18 ± 0.06
9	12.55 ± 0.04	5.46 ± 0.08

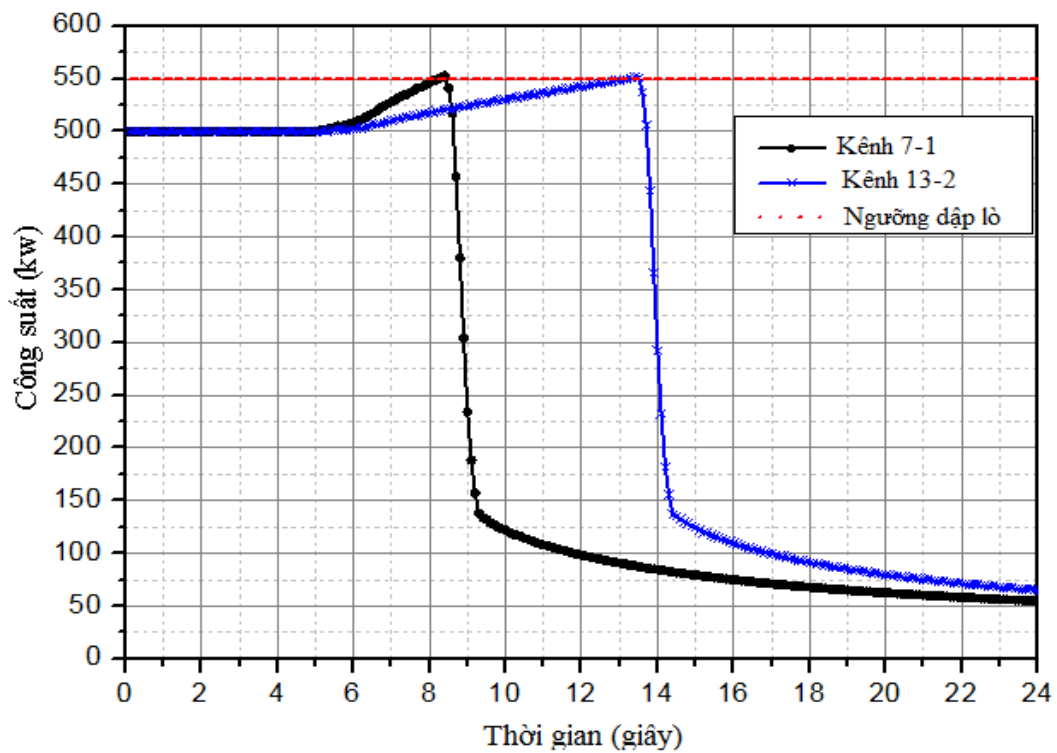
Trên bảng số liệu cho thấy rằng, với kích bản thùng kênh như trên thì sau 9 giây thì các kênh chiều mẫu 7-1 và 13-2 ngập nước hoàn toàn, và sẽ đưa vào vùng hoạt độ phản ứng dương thay đổi theo thời gian như thể hiện ở bảng trên. Trong các kết quả này cho thấy, độ phản ứng của kênh 7-1 lớn hơn kênh 13-2 là do kênh 7-1 nằm gần tâm vùng hoạt hơn.



Hình 6. Độ phản ứng thay đổi theo thời gian trên kênh 7-1 khi nước chiếm chỗ không khí



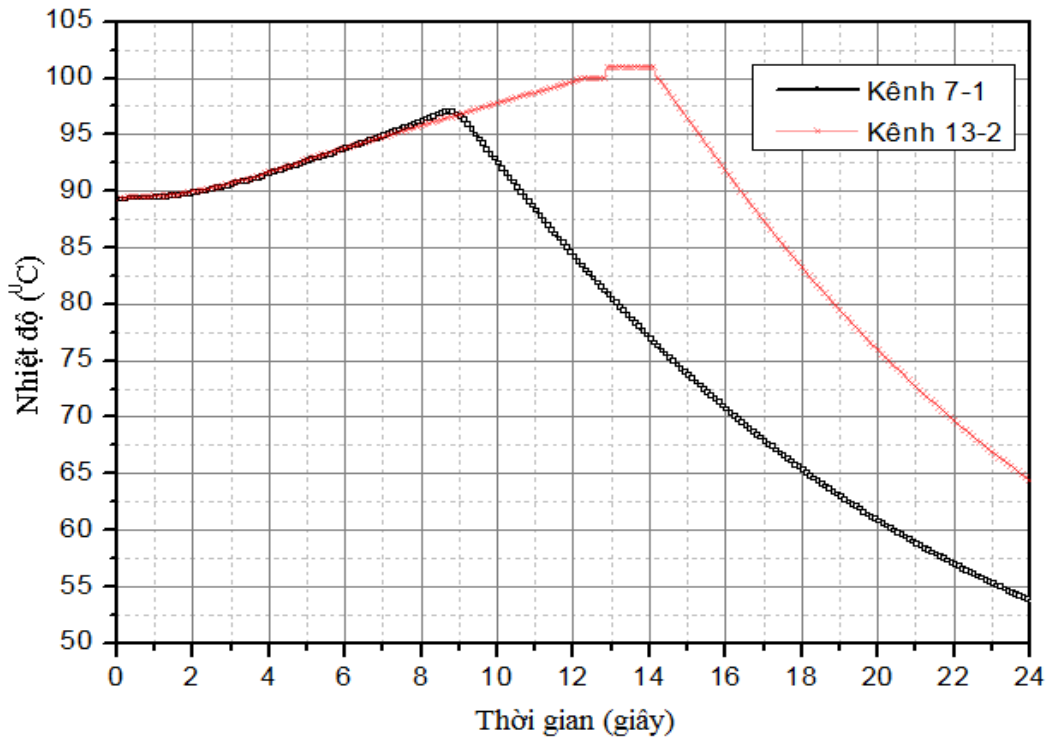
Hình 7. Độ phản ứng thay đổi theo thời gian trên kênh 13-2 khi nước chiếm chỗ không khí



Hình 8. Sự thay đổi công suất khi kênh 7-1 và 13-2 khi nước chiếm chỗ không khí

Hình 8 thể hiện rằng, lò phản ứng đang hoạt động với công suất danh định là 500 kw, và đến giây thứ 5 thì hiện tượng thủng một trong hai kênh 7-1 và 13-2 bắt đầu xảy ra, khi đó sẽ có độ phản ứng dương đưa vào và làm cho công suất lò tăng, khi công suất tăng đạt đến

ngưỡng bảo vệ sự cố của lò 550 kw (110% công suất danh định) thì xảy ra hiện tượng dập lò, có nghĩa là tất cả các thanh điều khiển và an toàn rơi vào vùng hoạt và sẽ đưa vào một độ phản ứng âm rất lớn làm cho công suất giảm xuống rất nhanh. Thời gian trễ của lò Đà Lạt khi xuất hiện tín hiệu đến khi dập lò theo ngưỡng công suất là 0.16 giây.



Hình 9. Nhiệt độ bề mặt nhiên liệu khi kênh 7-1 và 13-2 khi nước chiếm chỗ không khí

Kết quả tính toán cho kênh 7-1 cho thấy rằng độ phản ứng lớn nhất đưa vào vùng hoạt khi kênh đó bị nước chiếm hoàn toàn trong là 12.55 ± 0.04 (cents) và lò sẽ bị dập theo ngưỡng bảo vệ công suất là 110% sau 3.4 giây kể từ khi xảy ra sự cố thủng kênh như thể hiện trên hình 9. Và nhiệt độ cực đại của bề mặt thanh nhiên liệu là 97.2°C . Đối với kênh 13-2 thì độ phản ứng lớn nhất đưa vào vùng hoạt khi nước chiếm hoàn toàn trong kênh là 5.46 ± 0.08 như vậy lò sẽ dập theo ngưỡng bảo vệ công suất sau 8.5 (giây) kể từ khi xảy ra sự cố thủng kênh và nhiệt độ cực đại của bề mặt thanh nhiên liệu là 101°C . Vậy nhiệt độ bề mặt thanh nhiên liệu sau sự cố thủng kênh 7-1 là nhỏ hơn nhiệt độ bề mặt thanh nhiên liệu sau sự cố thủng kênh 13-2. Điều này có thể giải thích rằng đối với kênh 7-1 độ phản ứng là lớn hơn kênh 13-2 do đó thời gian tăng công suất là rất ngắn tức sau 3.4 giây là lò phản ứng bị dập, nhưng đối với kênh 13-2 thì sau 8.5 giây mới bị dập lò vì vậy khoảng thời gian tăng nhiệt độ kênh 13-2 là lớn hơn.

IV. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, đã xác định độ phản ứng đưa vào vùng hoạt theo thời gian khi các kênh chiếu mẫu đứng khô kênh 7-1 và kênh 13-2 bị nước được chiếm bởi không khí. Với các kết quả trên đã xác định được sự thay đổi công suất lò cũng như nhiệt độ bề mặt thanh nhiên liệu khi xảy ra sự cố thùng kênh. Kết quả là cả hai kênh đều đưa vào độ phản ứng dương khi nước chiếm chỗ không khí cho thấy rằng nước ở trong hai kênh trên được đóng vai trò làm chậm neutron hơn là hấp thụ neutron, điều này là ngược lại so với sự hiện diện của nước ở bể của vùng hoạt. Các kết quả này có ý nghĩa quan trọng trong vận hành an toàn lò phản ứng cũng như để thực hiện các mục đích tính toán chuyển đổi vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt sau này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Viện Nghiên cứu hạt nhân, *Quy phạm vận hành lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt*, Tháng 3, 2014.
- [2]. Viện nghiên cứu hạt nhân, *Báo cáo phân tích an toàn sử dụng cho lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt*, 2012.
- [3]. The general manual is “*MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5*”, April , 2003.
- [4]. EUREKA-2/RR : A Computer Code for the Reactivity Accident Analyses in Research Reactors, Private Communication.