

TÍNH TOÁN ĐỘ KHÔNG KHẢ DỤNG HỆ ECCS TRONG SỰ CỐ LOCA VỠ LỚN Lò PWR BẰNG PHẦN MỀM KIRAP

NGUYỄN THỊ TÚ OANH, HOÀNG MINH GIANG

*Trung Tâm An Toàn Hạt Nhân, Viện Khoa học và Kỹ Thuật Hạt Nhân
179 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội.
tuoanh2785@yahoo.com*

Tóm tắt: Sự cố LOCAs có thể dẫn đến việc mất chất tải nhiệt lò phản ứng với mức độ vượt ra ngoài khả năng bù đắp của hệ thống điều tiết, do vậy dẫn đến khởi động hệ thống ECCS. Khi sự cố LOCAs xảy ra, hệ thống ECCS được khởi động và phun nước làm mát khẩn cấp vùng hoạt, ngăn chặn hỏng hóc vỏ bọc nhiên liệu, hạn chế phản ứng hóa học giữa nước và lớp vỏ bọc nhiên liệu bằng zirconium đến mức thấp nhất.

Báo cáo này tính toán độ không khả dụng của hệ ECCS khi xảy ra sự cố LOCAs lớn, lượng hóa xác suất hỏng hóc của một số kịch bản dẫn đến tần suất hỏng hóc vùng hoạt.

Từ khóa: ECCS, PSA, LB LOCA.

I. MỞ ĐẦU

Phân tích sự cố LOCAs được tiến hành bởi các phương pháp tất định và phương pháp xác suất. Phương pháp tất định đánh giá hiệu quả của các hệ thống trên cơ sở mô phỏng trực tiếp các quá trình vật lý, thủy nhiệt diễn ra. Mô hình phân tích và đánh giá an toàn trong phương pháp tất định khi xảy ra sự cố LOCA bao gồm các yếu tố sau đây:

- Nguồn nhiệt.
- Phồng rộp và nứt vỡ vỏ bọc thanh nhiên liệu và các tham số thủy nhiệt của thanh nhiên liệu.
- Đặc trưng nứt vỡ, thông lượng nhiệt tới hạn.
- Mô tả thực hoạt động của hệ thống lò phản ứng khi xảy ra LOCA, đặc biệt là hệ ECCS.
- Xem xét độ bất định.

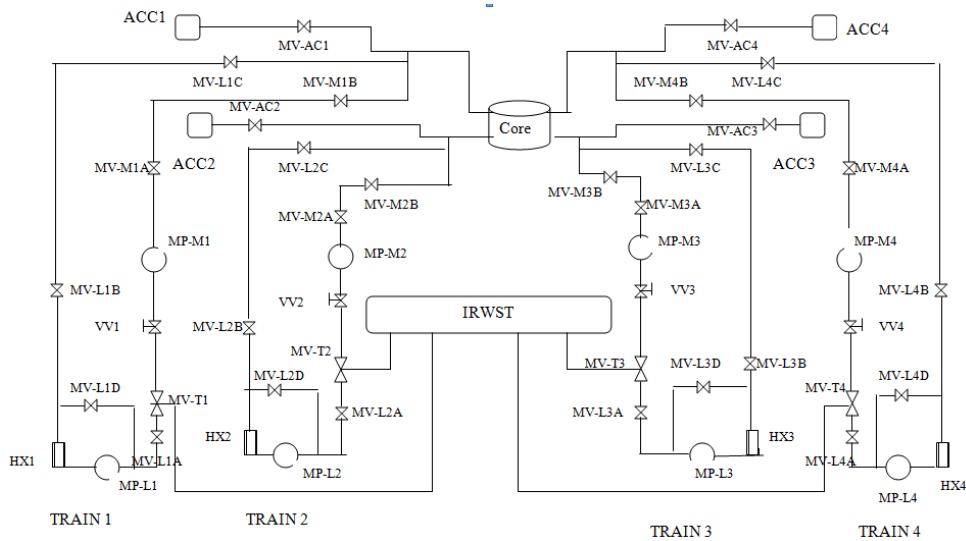
Phương pháp tất định đưa ra các kết quả về vật lý và thủy nhiệt và dự đoán đáp ứng của hệ thống đối với sự cố LOCAs, đồng thời cũng kiểm tra đáp ứng của hệ thống có thỏa mãn các tiêu chuẩn chấp nhận hay không.

Phương pháp phân tích an toàn xác suất được phát triển và cùng với cách tiếp cận tất định bổ sung cho nhau trong việc đánh giá an toàn của nhà máy điện hạt nhân. Phương pháp phân tích an toàn xác suất kết hợp các khả năng có thể xảy ra của các sự kiện khởi đầu, các kịch bản có thể và các hậu quả của chúng để tính tần suất hư hỏng vùng hoạt, yếu tố nguồn và rủi ro của chúng. PSA cung cấp cái nhìn về độ tin cậy trong hoạt động của hệ ECCS trong sự cố LOCA và những rủi ro của hệ thống này. Kết quả của các phân tích an toàn xác suất không chỉ xác định những điểm yếu mà cả những điểm mạnh liên quan đến an toàn của nhà máy, do đó hỗ trợ việc thiết lập ưu tiên và tập trung những cố gắng vào những điểm nhạy cảm nhất và nâng cao sự an toàn của nhà máy.

II. XÂY DỰNG CÂY LỖI VÀ CÂY SỰ KIỆN VỚI SỰ KIỆN KHỞI ĐẦU LOCA VỠ LỚN

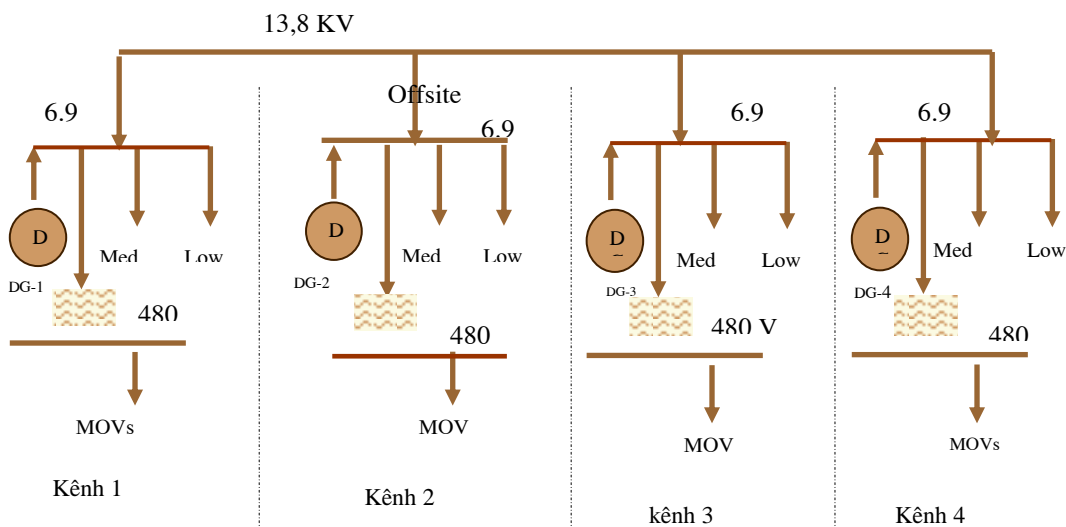
1. Mô tả hệ ECCS

Báo cáo này mô tả bài toán LOCA vỡ lớn đối với lò phản ứng AREVA 1600 MW. Hệ thống ECCS gồm bốn hệ phun an toàn (SIS) và bể tích lũy (ACC) độc lập cấp nước khẩn cấp cho vùng hoạt. Mỗi nhánh độc lập có các bơm trung áp (MHSI), bơm thấp áp (LHSI) và một đường đưa nước vào vùng hoạt từ bể tích lũy (ACC). Đường bơm nước trung và thấp áp chung nhau cổ hút có thể cách ly từ bể chứa nhiên liệu đã sử dụng (IRWST). Van ba nhánh này nối IRWST với cổ hút của MHSI và LHSI khi nó ở vị trí mở. Đường bơm LHSI hút nước từ chân nóng và đưa qua bộ trao đổi nhiệt để loại bỏ nhiệt dư, nó có thể được khóa lại cho LHSI đưa nước từ IRWST vào chân lạnh của thùng lò. Các đường MHSI, LHSI và đường phun nước từ bể tích lũy cùng chung nhau lối vào trên chân lạnh tương ứng.[1]. Sơ đồ đơn giản đường ống và thiết bị của hệ ECCS được thể hiện ở hình 1.



Hình 1. Sơ đồ đơn giản đường ống và thiết bị hệ ECCS

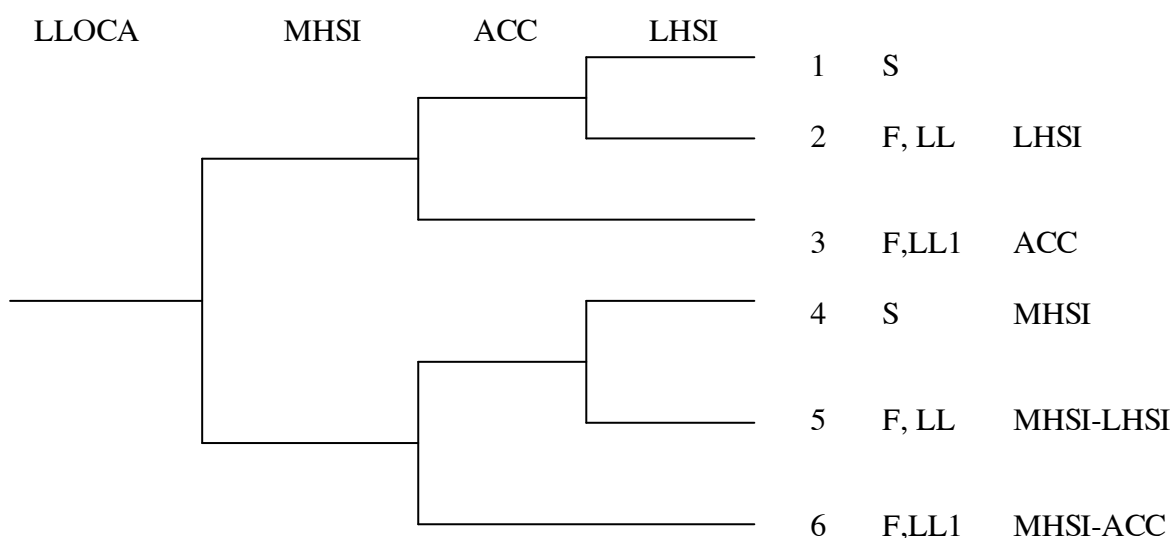
Hệ thống điện cung cấp cho hệ ECCS bao gồm bốn kênh riêng biệt. Mỗi kênh nối với một nhánh của hệ ECCS (hình 2). [1]



Hình 2. Sơ đồ điện cho hệ ECCS

2. Xây dựng sơ đồ cây lỗi và cây sự kiện

Khi xảy ra sự cố LOCA vỡ lớn (LLOCA), áp suất lò phản ứng đột ngột giảm xuống. Dòng vỡ làm dòng chảy trong khe biên đảo chiều ngay lập tức và làm giảm lưu lượng dòng qua vùng hoạt. Do đó gây nên sự vượt quá thông lượng nhiệt tới hạn của các thanh nhiên liệu. Lò phản ứng được dập và hệ ECCS được kích hoạt để đưa nước vào vùng hoạt. Khi áp suất hệ thống xuống dưới áp suất của bể tích lũy, các bể tích lũy xả nước vào các chân lạnh. SIS bắt đầu đưa nước vào hệ thống làm mát sau một khoảng thời gian trễ và khi áp suất của hệ sơ cấp giảm xuống dưới áp suất của các hệ tiêm nước trung áp và thấp áp.



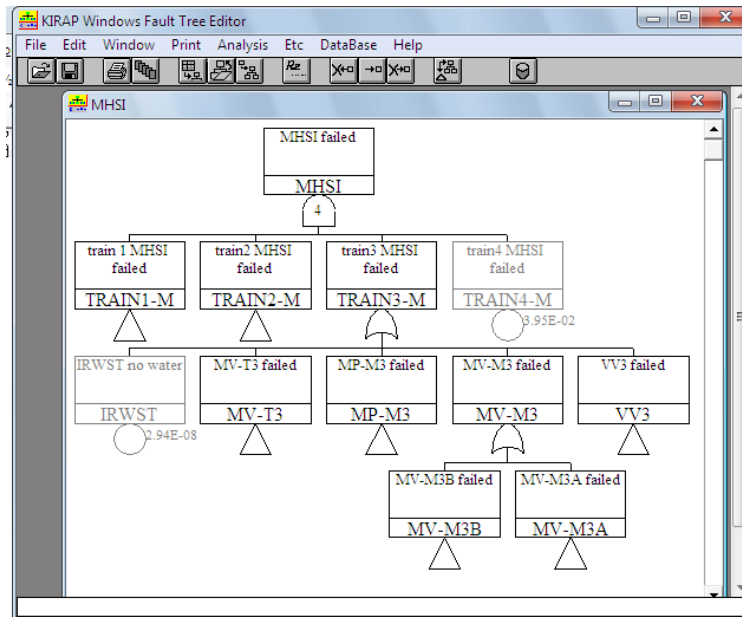
Hình 3. Sơ đồ cây sự kiện cho sự cố LOCA vỡ lớn [1]

Khi xảy ra sự kiện khởi đầu LOCA vỡ lớn, hệ thống ECCS được khởi động. Theo sơ đồ trên có các kịch bản số 2, 3, 5 và 6 đóng góp vào sự hư hỏng vùng hoạt. Các kịch bản của cây sự kiện trên được mô tả theo bảng 1.

Bảng 1. Kịch bản cây sự kiện với sự kiện khởi đầu LOCA vỡ lớn [1]

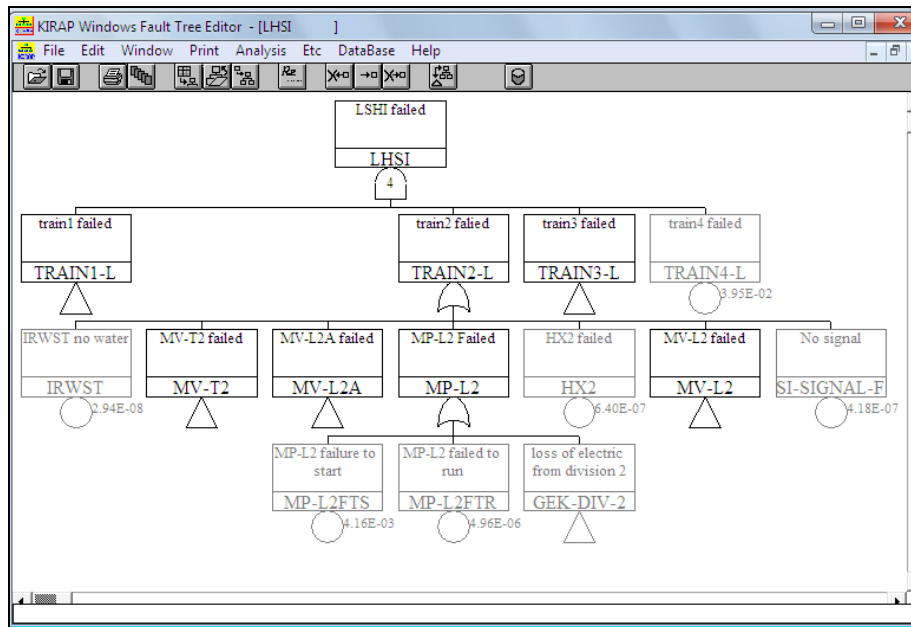
Sự kiện đỉnh của cây sự kiện		Tiêu chuẩn thành công	Sự kiện lỗi	Mô tả sự kiện
LLOCA	LOCA vỡ lớn		IE LOCA	LLOCA (>6'')
MHSI	MHSI sẵn sàng	1 trong 4 trains sẵn sàng đưa nước (train 4 lỗi do sự kiện khởi đầu)	MHSI 4/4 (FT top gate)	Lỗi 4/4 MHSI trains (train 4 lỗi do sự kiện khởi đầu)
ACC	ACC sẵn sàng với: - Khởi động thành công MHSI (dk2) - lỗi MHSI (dk4)	1 trong 3 ACC 2 trong 3 ACC	ACC 3/3 ACC2/3	Lỗi 3/3 ACC train (train 4 lỗi do sự kiện khởi đầu) Lỗi 2/3 ACC train
LHSI	LHSI sẵn sàng đưa nước và loại bỏ nhiệt nhà lò, với hoạt động thông qua tín hiệu được yêu cầu (dk2)	1 trong 4 bơm LHSI sẵn sàng (train 4 lỗi do sự kiện khởi đầu)	LHSI CHR 4/4 (FT top gate)	Lỗi 4/4 LHSI trains (injection/CHR mode); tín hiệu SI cần (train 4 lỗi do sự kiện khởi đầu)

Theo các kịch bản được mô tả ở trên, ta xây dựng được sơ đồ cây sự kiện cho MHSI và LHSI và sơ đồ cây sự kiện cho hệ thống điện cung cấp cho hệ ECCS (hình 4,5,6).



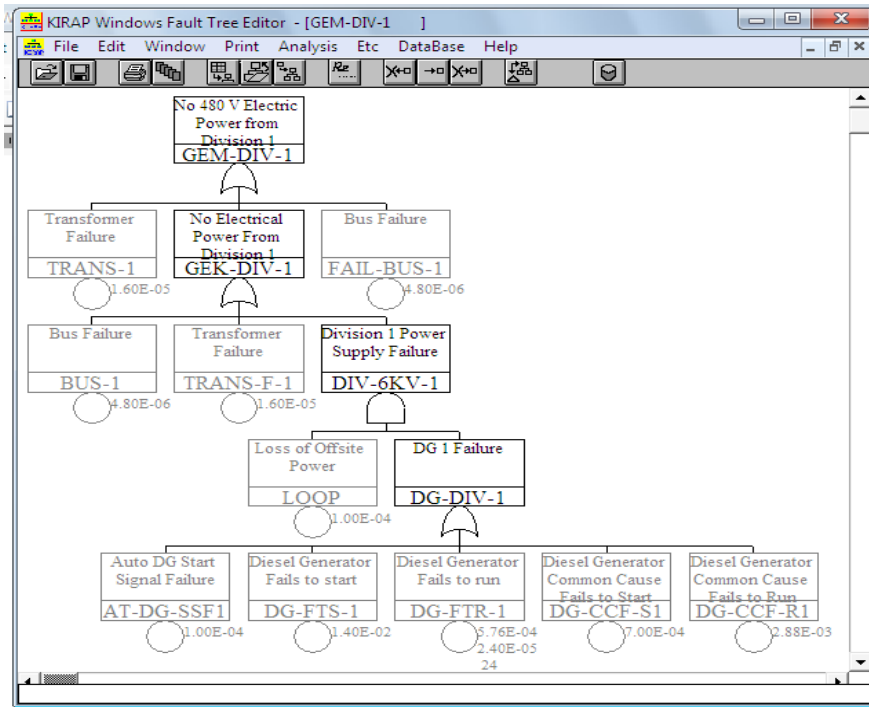
Hình 4. Sơ đồ cây lỗi cho hệ thống MHSI

Hệ thống MHSI cung cấp đủ nước khi chỉ có 1 nhánh của MHSI sẵn sàng hoạt động. Do đó, sự kiện đỉnh lỗi MHSI xảy ra khi lỗi đồng thời 4 nhánh MHSI (nhánh 4 lỗi do sự kiện khởi đầu). Theo sơ đồ hình 1, mỗi nhánh MHSI bị lỗi khi một trong các thiết bị : bể IRWST, van ba nhánh, bơm MHSI, van tay hoặc mô tơ van. Đối với bơm và các van chạy bằng điện, cần tính cả lỗi do bị mất điện.



Hình 5. Sơ đồ cây lỗi cho hệ thống LHSI

Tương tự như đối với hệ thống MHSI, ta xây dựng được sơ đồ cây lỗi cho hệ thống LHSI như hình 5. LHSI lỗi khi một trong ba nhánh LHSI bị lỗi (nhánh 4 LHSI lỗi do sự kiện khởi đầu). Với từng nhánh theo sơ đồ hình 1, LHSI lỗi khi xảy ra lỗi một trong các thiết bị : bể IRWST, van ba nhánh, bơm LHSI, bộ trao đổi nhiệt hoặc mô tơ van. Với mỗi nhánh cần phải tính đến lỗi do không có tín hiệu khởi động. Các bơm và van chạy bằng điện cần tính đến lỗi của hệ thống điện (mất điện).



Hình 6. Sơ đồ cây lỗi cho hệ thống điện khẩn cấp, kênh 1

III. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

Sau khi xây dựng các cây lỗi, nhấn Generate Cut Sets trên thanh công cụ Analysis của KIRAP để tạo các tập Cut, ta được phương trình đại số BOOL của mỗi hệ thống được chứa trong một tập cụ thể như sau:

MHSI được chứa trong tập “MHSI.CUT”

LHSI được chứa trong tập “LHSI.CUT”

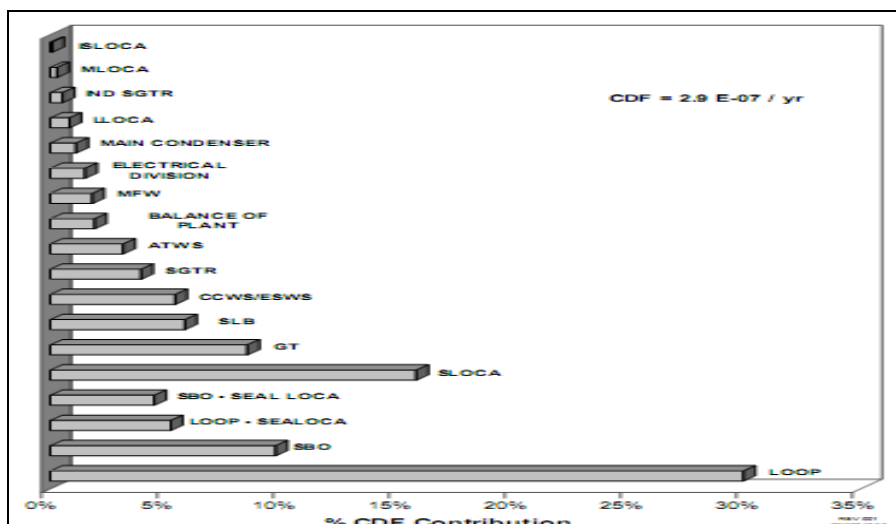
Electric được chứa trong tập “electric.CUT”

Ký hiệu xác suất cho mỗi sự kiện theo các kịch bản 2,3,5,6 là CD2, CD3, CD5, CD6 và tổng của các kịch bản là SQ. Xây dựng tệp input LLOCA.txt và sử dụng Kcut ta thu được kết quả của từng nhánh cây lỗi và cho toàn bộ hệ thống như sau:

Bảng 2. Kết quả tính toán tần suất các sự kiện theo các kịch bản

Reporting	MHSI	LHSI	CD2	CD3	CD5	CD6	SQ
value =	9,315e-009	2,052e-008	2,729e-014	5,918e-014	6,101e-017	9,282e-020	8,647e-014

Kết quả cho tần suất hư hỏng vùng hoạt của các kịch bản với sự kiện khởi đầu LOCA vỡ lớn là SQ= 8,647e-014. Như vậy sự kiện LOCA vỡ lớn đóng góp một phần rất nhỏ.



Hình 7. U.S. EPR đóng góp của các sự kiện khởi đầu - Level 1 các sự kiện bên trong*
 (* U.S. EPR FINAL SAFETY ANALYSIS REPORT, chapter 19.)

Theo biểu đồ trên, sự kiện LOCA vỡ lớn chỉ chiếm 1% tần suất hư hỏng vùng hoạt tức là có xác suất $2,9e-9$ /năm. Như vậy, kết quả tính toán thu được là $8,647e-14$ có sự chênh lệch rất lớn. Điều này là do sự thiếu dữ liệu nên nhiều sự kiện đã được bỏ qua trong khi tính toán.

Kết quả cho thấy sự kiện hỏng cả 4 bể tích lũy (bể thứ 4 hỏng do sự kiện khởi đầu) có giá trị f-v cao nhất 0,6844, sau đó là sự kiện liên quan đến tín hiệu khởi động LHSI 0,254.

Bảng 3. Kết quả tính toán giá trị f-v

no	value	f-v	acc	cut sets
1	5.918E-14	0.6844	0.6844	LLOCA 3ACC
2	2.196E-14	0.254	0.9384	TRAIN4-L SI-SIGNAL-F LLOCA
3	3.782E-15	0.0437	0.9821	TRAIN4-L MP-L1FTS MP-L3FTS MP-L2FTS LLOCA
4	1.545E-15	0.0179	1	IRWST TRAIN4-L LLOCA

Để tính các đại lượng về Importance, ta xây dựng g một tệp import.txt và chạy với kcut thu được kết quả như sau :

Bảng 4. Kết quả tính toán giá trị Important

Event Importance Information						
no	event	mean	f-v	rrw	raw	pd
1	LLOCA	1.33E-06	1	9999	751879.7	0
2	3ACC	4.45E-08	0.6844	3.169	15380840	0
3	TRAIN4-L	3.95E-02	0.3156	1.461	8.67	0
4	SI-SIGNAL-F	4.18E-07	0.254	1.3404	607543.9	0
5	MP-L3FTS	4.16E-03	0.0437	1.0457	11.47	0
6	MP-L2FTS	4.16E-03	0.0437	1.0457	11.47	0
7	MP-L1FTS	4.16E-03	0.0437	1.0457	11.47	0
8	IRWST	2.94E-08	0.0179	1.0182	607544.2	0

Theo kết quả này, lỗi do các bể tích lũy, hệ thống điện và và lỗi do bơm của hệ thống LHSI đóng vai trò quan trọng. Như vậy các thành phần này cần được quan tâm nhất khi bảo trì bảo dưỡng và vận hành.

IV. KẾT LUẬN

Báo cáo đã bước đầu tiếp cận và sử dụng phần mềm KIRAP tính toán xác suất hư hỏng vùng hoạt cho sự kiện khởi đầu LOCA vỡ lớn trong lò phản ứng PWR. Kết quả cho thấy trong sự cố LOCA, các bơm của hệ cấp nước khẩn cấp đóng vai trò quan trọng cần được quan tâm trong quá trình vận hành cũng như bảo dưỡng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] “U.S. EPR FINAL SAFETY ANALYSIS REPORT”, tier 2, revision 2.
- [2] “Industry-Average Performance for Components and Initiating Events at U.S. Commercial Nuclear Power Plants”, 2007.
- [3] Integrated Safety Assessment Team “Bộ cài đặt phần mềm KIRAP: KIRAP-Tree(KwTree) & KCUT & User’s Manual”, 7/1998
- [4] Lê Văn Hồng và các cộng sự: Báo cáo tổng kết đề tài độc lập cấp Nhà nước, mã số ĐTĐL-2002/17 “Xây dựng tiềm lực R&D phục vụ chương trình phát triển điện hạt nhân ở Việt Nam”, Nhánh A, Quyển số 7: “Phân tích mức 1 PSA bằng phần mềm KIRAP”.
- [5] <http://vn-ansn.org.vn:81>

STUDY OF THE UNAVAILABLE OF ECCS IN THE EVENT OF LB LOCA OF PWR USING KIRAP

Abstract : LOCAs are postulated accidents that can lead to the loss of reactor coolant beyond the possibility to make up by normal coolant system and lead to initiate other emergency system. The ECCS has an important role in ensuring the safety of NPP when LOCA occur. The ECCS system inject Boron water into RCS in order to cooling reactor core, preventing the damage of fuel cladding, mitigating the reaction between water and zirconium as low as possible.

This study considers the unavailability of ECCS to meet the reactor safety requirement and probability of core damage when LB LOCA occur.