Nghiên cứu ứng dụng BIM trong mô phỏng cháy nổ và thoát hiểm công trình dân dụng trong giai đoạn khai thác

The application of BIM on fire and evacuation simulation in the operational phase of civil buildings

> NGUYỄN ĐỨC CHUYÊN[1], LÊ MINH CẢNH[1,*], NGUYỄN NHẬT MINH TRỊ[2], NGUYỄN DUY LIÊM[3]
1,*Phân hiệu tại TP.HCM, Trường Đại học Giao thông vận tải; Email: canhlm_ph@utc.edu.vn
[2]Khoa Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Công nghiệp TP.HCM
[3]Khoa Xây dựng, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM

TÓM TẮT

Trước tình hình gia tăng các sự cố cháy nổ trong các khu đô thị và yêu cầu ngày càng cao về an toàn công trình, việc ứng dụng BIM trong quản lý và xử lý các tình huống khẩn cấp trở nên vô cùng cấp thiết. Bài báo trình bày chi tiết cấu tạo và nguyên lý hoạt động của BIM, cũng như quy trình triển khai ứng dụng BIM vào mô phỏng các tình huống cháy nổ và thoát hiểm. Các phần mềm chuyên dụng như Pyrosim và Pathfinder được sử dụng để tiến hành mô phỏng và đánh giá mức độ an toàn của một công trình dân dụng mẫu khi xảy ra cháy nổ. Nhóm nghiên cứu đã thực hiện các mô phỏng chi tiết, phân tích đặc điểm cơ lý và cấu trúc của công trình để đảm bảo tính chính xác và hiệu quả của kết quả. Qua đó, bài báo không chỉ đánh giá mức độ an toàn mà còn đề xuất các biện pháp phòng cháy chữa cháy và thoát hiểm phù hợp, dựa trên dữ liệu mô phỏng và phân tích thực tế. Những biện pháp này được thiết kế nhằm tối ưu hóa hiệu quả phòng chống cháy nổ, đảm bảo an toàn tối đa cho người sử dụng công trình. Việc ứng dụng BIM trong mô phỏng cháy nổ và thoát hiểm không chỉ giúp cải thiện quy trình thiết kế và thi công, mà còn cung cấp công cụ quản lý và đánh giá rủi ro hiệu quả hơn.

Từ khóa: BIM; mô phỏng cháy nổ và thoát hiểm; hành vi con người; an toàn công trình.

ABSTRACT

In the face of escalating fire incidents within urban areas and increasingly stringent building safety requirements, the application of Building Information Modeling (BIM) in emergency management has become paramount. This paper delves into the detailed structure and operational principles of BIM, along with the implementation process for employing BIM in simulating fire scenarios and evacuation procedures. Specialized software, including Pyrosim and Pathfinder, is utilized to conduct simulations and evaluate the safety level of a sample residential building during fire incidents. The research team meticulously conducted simulations, analyzing the psychological and structural characteristics of the building to ensure the accuracy and effectiveness of the results. Consequently, the paper assesses the safety level and proposes appropriate fire prevention, suppression, and evacuation measures based on simulation data and practical analysis. These measures are designed to optimize fire protection efficacy, ensuring maximum safety for building occupants. The application of BIM in fire and evacuation simulations not only enhances design and construction processes but also provides a more effective risk management and assessment tool.

Keywords: BIM; fire and evacuation simulation; human behavior; safety of Building.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cháy nổ tại công trình dân dụng luôn tiềm ẩn nguy cơ gây thiệt hại nghiêm trọng về người và tài sản. Theo thống kê, tỷ lệ cháy nổ tại các công trình này ngày càng gia tăng, chủ yếu do sự bất cẩn của con người và sự cố hệ thống điện. Các vụ việc nghiêm trọng gần đây như vụ cháy quán karaoke An Phú, Bình Dương (2022) khiến 32 người tử vong và vụ cháy chung cư mini, Hà Nội (2023) với 56 người thiệt mạng đã đặt ra yêu cầu cấp bách về việc nâng cao hiệu quả phòng cháy chữa cháy và thoát hiểm cho công trình dân dụng. Trước tình hình này, việc nghiên cứu và ứng dụng các phương pháp

mới trong quản lý và xử lý các tình huống khẩn cấp trở nên vô cùng cần thiết.

BIM là công nghệ tiên tiến, giúp tích hợp và quản lý thông tin công trình một cách hiệu quả, hỗ trợ trong việc thiết kế, thi công và quản lý công trình sau khi đưa vào sử dụng. Việc ứng dụng BIM không chỉ giúp tăng cường khả năng phòng chống cháy nổ mà còn tối ưu hóa quá trình thoát hiểm trong các tình huống khẩn cấp [1]. Lợi ích của việc ứng dụng BIM trong mô phỏng cháy nổ và thoát hiểm là rất đáng kể. BIM cung cấp mô hình 3D chi tiết về công trình, bao gồm vật liệu xây dựng, kích thước, vị trí cửa ra vào, cầu thang...giúp mô phỏng chính xác quá trình phát triển và lan truyền của đám cháy trong công trình. Điều này cho phép đánh giá hiệu quả của các biện pháp phòng cháy chữa cháy như hệ thống báo cháy, hệ thống phun nước chữa cháy, từ đó đề xuất các giải pháp tối ưu để nâng cao hiệu quả phòng cháy chữa cháy. BIM cũng giúp xác định các khu vực có nguy cơ cháy nổ cao, từ đó tập trung các biện pháp phòng ngừa và cứu hộ tại những khu vực này. Ngoài ra, BIM còn giúp mô phỏng hành vi di chuyển của người trong đám cháy, bao gồm tốc độ di chuyển, hướng di chuyển...từ đó đánh giá hiệu quả của hệ thống thoát hiểm. Điều này giúp xác định các điểm tắc nghẽn trong hệ thống thoát hiểm và đề xuất các giải pháp cải thiện để đảm bảo an toàn cho người dân khi có cháy nổ xảy ra. BIM cũng hỗ trợ lập kế hoạch thoát hiểm hiệu quả cho công trình, bao gồm xác định các lối thoát hiểm an toàn và hướng dẫn di chuyển cho người dân [2]. Tại Việt Nam, đã có một số nghiên cứu và dự án thực tế liên quan đến việc ứng dụng BIM trong quản lý xây dựng và phòng cháy chữa cháy. Chẳng hạn dự án Vincom Center Landmark 81: Ứng dụng BIM trong quản lý và giám sát quá trình thi công, đảm bảo các tiêu chuẩn an toàn phòng cháy chữa cháy; dự án Tòa nhà Bitexco Financial Tower: Sử dụng BIM để thiết kế hệ thống thoát hiểm và mô phỏng các tình huống khẩn cấp, từ đó tối ưu hóa lối thoát hiểm và các biện pháp phòng cháy chữa cháy. Các nghiên cứu và dự án này chủ yếu tập trung vào việc cải thiện quá trình thiết kế và thi công, quản lý dự án và duy trì công trình, nhưng chưa đi sâu vào ứng dụng BIM trong mô phỏng cháy nổ và thoát hiểm. Vì vậy, nghiên cứu này được thực hiện để đáp ứng nhu cầu cấp thiết của việc nâng cao chất lượng công tác phòng cháy chữa cháy và đảm bảo an toàn cho người dân trong các tình huống khẩn cấp. Ứng dụng BIM có tiềm năng lớn trong việc cung cấp các giải pháp tối ưu, từ đó giúp nâng cao hiệu quả quản lý và vận hành công trình dân dụng, góp phần vào việc phát triển bền vững và an toàn cho ngành xây dựng tại Việt Nam.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1 Cơ sở lý thuyết áp dụng BIM trong mô phỏng cháy nổ và thoát hiểm

Để mô phỏng cháy nổ và thoát hiểm cho công trình dân dụng bằng BIM một cách hiệu quả, Hình 1 trình bày tóm tắt các giai đoạn của đám cháy [3].

Hình 1. Đặc điểm các giai đoạn của đám cháy trong công trình dân dụng

Bên cạnh đó, hành vi con người trong đám cháy rất quan trọng đối với hiệu quả thoát hiểm và an toàn của tòa nhà. Các lý thuyết về hành vi này, như lý thuyết hoảng loạn, đám đông, tìm kiếm lối thoát và vai trò lãnh đạo, cung cấp cái nhìn sâu sắc về cách mọi người phản ứng trong tình huống khẩn cấp [4]. Lý thuyết hoảng loạn cho rằng lửa và khói có thể gây hoảng loạn, làm con người mất bình tĩnh và hành động không hợp lý. Tuy nhiên, nghiên cứu cho thấy hoảng loạn ít xảy ra hơn so với sự hợp tác và giúp đỡ lẫn nhau. Mọi người thường tìm kiếm thông tin và hướng dẫn từ xung quanh hoặc các hệ thống chỉ dẫn thoát hiểm. Lý thuyết đám đông giải thích rằng hành vi cá nhân bị ảnh hưởng bởi đám đông. Khi một gười di chuyển về phía lối thoát, những người khác có xu hướng làm theo, tạo ra dòng di chuyển có tổ chức hoặc tắc nghẽn nếu lối thoát không đủ rộng hoặc không được chỉ dẫn rõ ràng. Lý thuyết tìm kiếm lối thoát cho rằng con người sẽ tìm kiếm lối thoát an toàn và ngắn nhất. Tuy nhiên, nhiều người có xu hướng quay lại lối vào ban đầu vì quen thuộc, gây nguy hiểm nếu lối đó bị lửa hoặc khói bao phủ. Việc cung cấp hướng dẫn rõ ràng và hệ thống chiếu sáng thoát hiểm hiệu quả là rất quan trọng. Lý thuyết vai trò lãnh đạo nhấn mạnh rằng sự hiện diện của người lãnh đạo hoặc người được đào tạo về thoát hiểm có thể cải thiện hiệu quả thoát hiểm. Những người này có thể hướng dẫn và trấn an, giúp giảm hoảng loạn và đảm bảo mọi người di chuyển trật tự và an toàn.

2.2 Quy trình ứng dụng BIM trong mô phỏng cháy nổ và thoát hiểm

Bước 1: Lập mô hình BIM [5, 6]

• Thu thập dữ liệu đầu vào: Bắt đầu bằng việc thu thập các bản vẽ kiến trúc, kỹ thuật của công trình, cùng với các thông tin chi tiết về vật liệu xây dựng, kích thước các phòng, vị trí cửa ra vào, cửa sổ, cầu thang, hệ thống kỹ thuật (điện, nước, HVAC).

• Tạo mô hình 3D: Sử dụng phần mềm Revit để xây dựng mô hình 3D của công trình.

• Xác định các khu vực quan trọng: Xác định các lối thoát hiểm, vị trí của các thiết bị phòng cháy chữa cháy (PCCC), và các khu vực nguy cơ cao như bếp, phòng máy.

Bước 2: Mô phỏng cháy nổ [3]

• Nhập mô hình BIM vào Pyrosim: Mô hình 3D từ Revit được nhập vào Pyrosim để bắt đầu quá trình mô phỏng cháy nổ.

• Thiết lập kịch bản cháy: Xác định nguồn gây cháy (ví dụ như chập điện, lửa từ bếp), loại và số lượng vật liệu dễ cháy. Thông tin này được đưa vào phần mềm để thiết lập các kịch bản cháy nổ khác nhau.

• Chạy mô phỏng: Pyrosim thực hiện mô phỏng quá trình cháy, lan truyền của lửa và khói, và thời gian kéo dài của đám cháy. Kết quả mô phỏng sẽ cho thấy các khu vực nguy hiểm và thời gian cần thiết để đám cháy lan rộng.

• Phân tích kết quả: Đánh giá kết quả mô phỏng để xác định các khu vực cần cải thiện trong hệ thống PCCC và cấu trúc tòa nhà.

Bước 3: Mô phỏng thoát hiểm [7]

• Nhập mô hình cháy nổ từ Pyrosim vào Pathfinder: Các dữ liệu về quá trình cháy nổ được chuyển sang Pathfinder để mô phỏng hành vi thoát hiểm.

• Thiết lập kịch bản thoát hiểm: Xác định số lượng người, vị trí ban đầu của họ trong tòa nhà, và các lối thoát hiểm có sẵn. Kịch bản này cần phản ánh thực tế với các yếu tố như mật độ người, hành vi di chuyển trong tình huống khẩn cấp.

• Chạy mô phỏng: Pathfinder sẽ mô phỏng cách mọi người di chuyển trong tình huống khẩn cấp, thời gian cần thiết để thoát ra khỏi tòa nhà, và những trở ngại có thể gặp phải.

• Phân tích kết quả: Đánh giá hiệu quả của hệ thống thoát hiểm hiện tại và đề xuất các giải pháp cải thiện, chẳng hạn như bổ sung thêm lối thoát hiểm, cải thiện các biện pháp chỉ dẫn thoát hiểm, và nâng cấp hệ thống cảnh báo khẩn cấp. Các kết quả này cũng có thể giúp thiết kế lại các yếu tố cấu trúc và bố trí không gian để đảm bảo an toàn tối đa cho cư dân.

2.3 Áp dụng mô hình BIM mô phỏng cháy nổ và thoát hiểm nhà dân dụng 5 tầng

2.3.1. Giới thiệu dự án mẫu (Hình 2): Công trình 5 tầng với diện tích xây dựng mỗi tầng 4x20 (m^2) bao gồm các khu vực chức năng như sau:

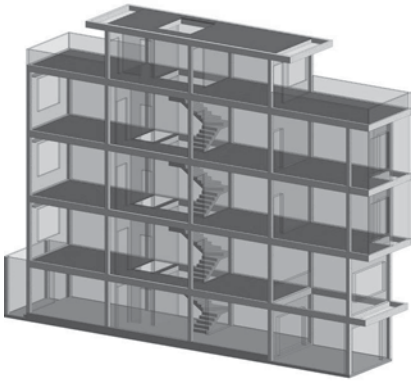
Tầng trệt: khu vực để xe, phòng khách, kho, bếp, khu ăn uống và sân sau.

Tầng lửng: khu vực làm việc.

Tầng 1 và 2: các phòng ngủ và phòng sinh hoạt gia đình.

Tầng 3: khu vực sân thượng và phòng thờ.

Tầng mái: được thiết kế để lấy sáng và tạo không gian thoáng.



Hình 2. Xây dựng mô hình 3D cho nhà dân dụng 5 tầng trên Revit

2.3.2. Kết hợp mô hình Revit với Pyrosim (Hình 3): giải thích cách xuất dữ liệu từ Revit sang Pyrosim và thiết lập các thông số mô phỏng cháy nổ.

Xuất dữ liệu từ Revit sang Pyrosim:

• Sử dụng chức năng xuất file của Revit để chuyển đổi mô hình sang định dạng mà Pyrosim chấp nhận (ví dụ: IFC, DXF).

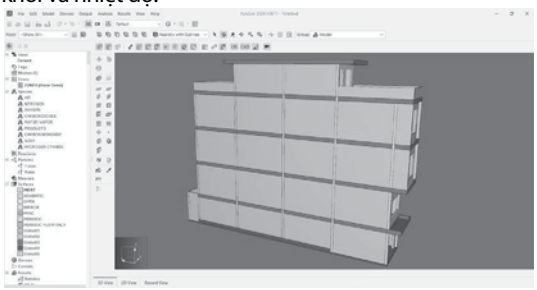
• Đảm bảo tất cả các thành phần quan trọng như tường, cửa, lối thoát hiểm được chuyển đổi chính xác.

Thiết lập các thông số mô phỏng cháy nổ trong Pyrosim:

• Nhập mô hình từ Revit vào Pyrosim.

• Xác định các nguồn phát lửa (đám cháy bắt nguồn từ nhà bếp) và các kịch bản cháy.

• Thiết lập các thông số như tốc độ phát triển của ngọn lửa, sự lan truyền khói và nhiệt độ.



Hình 3. Kết hợp mô hình Revit với Pyrosim

2.3.3. Kết hợp mô hình Pyrosim vào Pathfinder (Hình 4): giải thích cách xuất dữ liệu từ Pyrosim sang Pathfinder và thiết lập các thông số mô phỏng thoát hiểm.

Xuất dữ liệu từ Pyrosim sang Pathfinder: Sử dụng chức năng xuất file của Pyrosim để chuyển đổi dữ liệu sang định dạng mà Pathfinder chấp nhận (ví dụ: FDS, PSM).

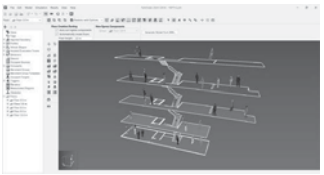
Thiết lập các thông số mô phỏng thoát hiểm trong Pathfinder:

• Nhập dữ liệu từ Pyrosim vào Pathfinder.

• Xác định các lối thoát hiểm (lối thoát hiểm ưu tiên nhất là cửa chính ra vào cho trường hợp cháy tại phòng bếp) và thiết lập các thông số như dung lượng lối thoát hiểm, tốc độ di chuyển của người, và các rào cản.

• Cài đặt các kịch bản thoát hiểm khác nhau để kiểm tra hiệu quả của các lối thoát hiểm và kế hoạch thoát hiểm.

Hình 4. Kết hợp mô hình Pyrosim vào Pathfinder



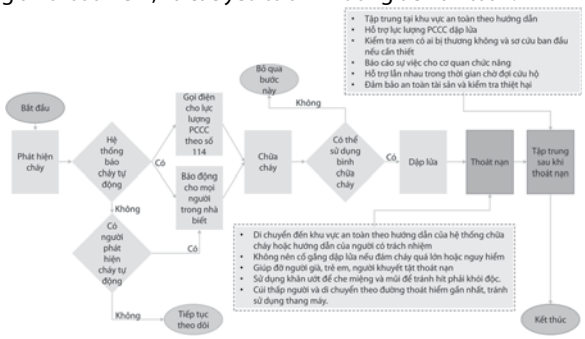
Hình 5. Mô phỏng hành vi người bị nạn

2.3.4. Mô phỏng hành vi người bị nạn (Hình 5): mô tả chi tiết quá trình mô phỏng hành vi di chuyển của người trong đám cháy, bao gồm các kịch bản khác nhau và kết quả mô phỏng.

Thiết lập các kịch bản mô phỏng khác nhau, ví dụ như: đám cháy bắt đầu từ khu vực bếp hoặc các khu vực khác như kho, nơi đỗ xe.

Mô phỏng hành vi di chuyển của người trong các tình huống khẩn cấp, bao gồm việc tránh khói, tìm lối thoát hiểm, và tương tác với các yếu tố môi trường như cửa và cầu thang.

Phân tích các kết quả mô phỏng để xác định các điểm tắc nghẽn, thời gian thoát hiểm, và các yếu tố ảnh hưởng đến an toàn.



Hình 6. Quy trình quản lý cháy nổ và thoát hiểm

2.3.5. Đánh giá phương án thiết kế: đánh giá mức độ an toàn của công trình trong trường hợp xảy ra cháy nổ dựa trên kết quả mô phỏng.

• So sánh thời gian thoát hiểm với các tiêu chuẩn an toàn hiện hành.

• Xác định các khu vực có nguy cơ cao và đề xuất các cải tiến thiết kế để giảm thiểu rủi ro.

• Đánh giá hiệu quả của các biện pháp phòng cháy chữa cháy và thoát hiểm hiện có.

2.3.6. Xây dựng quy trình quản lý cháy nổ và thoát hiểm (Hình 6): từ đó đề xuất các biện pháp phòng cháy chữa cháy và thoát hiểm cho công trình dựa trên kết quả mô phỏng.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Phân tích quá trình lan truyền khói (Hình 7)

Tại 0 giây: Bắt đầu mô phỏng, không có khói xuất hiện trong tòa nhà.

Tại 10 giây: Giai đoạn đầu của đám cháy cho thấy khói trong cầu thang chưa có, chủ yếu tập trung ở phòng bếp trước cửa cầu thang thoát hiểm, với sự khuếch tán khói rất ít.

Tại 20 giây: Một lượng khói lớn đã tụ lại trong phòng bếp và một lượng khói nhỏ đã bắt đầu lan lên từ phía cầu thang và ra hướng sân sau.

Tại 30 giây: Một lượng khói lớn bắt đầu lan trong buồng thang và một lượng khói nhỏ đã lan đến các phòng khác.

Tại 40 giây: Một lượng khói lớn đã lan đến cả cầu thang trên tầng 3 và gần tầng sân thượng, gây cản trở nghiêm trọng cho việc sơ tán qua cầu thang này.

Tại 50 giây: Cầu thang ở các tầng ngập trong khói đen dày đặc, khói ở các tầng tiếp tục lan lên trên. Lúc này, buồng thang bộ từ tầng trệt trở lên đều đầy khói, điều kiện sơ tán an toàn bị hạn chế.

a) tại thời điểm 10 giây

b) tại thời điểm 50 giây

Hình 7. Quá trình lan khói

3.2. Phân tích nhiệt độ

Hình 8 thể hiện sự thay đổi nhiệt độ trong buồng thang bộ và các khu vực lân cận tại các thời điểm khác nhau.

Tại 0 giây: Nhiệt độ trong toàn bộ tòa nhà ổn định ở khoảng 20°C, không có sự thay đổi nào đáng kể.

Tại 10 giây: Khói bắt đầu lan rộng, nhiệt độ ở các khu vực gần nguồn lửa tăng lên đáng kể. Nhiệt độ trong buồng thang bộ gần nguồn lửa bắt đầu tăng nhanh, nhưng vẫn dưới 30°C.

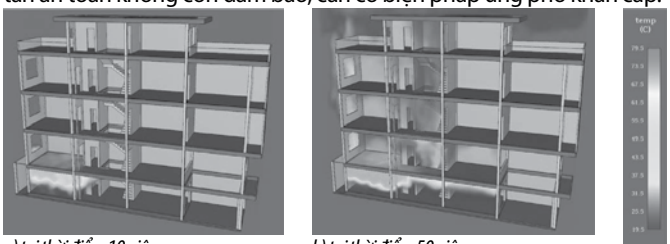
Tại 20 giây: Nhiệt độ tiếp tục tăng, đặc biệt là trong buồng thang bộ và các khu vực lân cận. Nhiệt độ tại một số điểm gần nguồn lửa đã vượt quá 30°C, đe dọa đến an toàn của người bị nạn.

Tại 30 giây: Nhiệt độ trong buồng thang bộ và các phòng lân cận tiếp tục tăng nhanh, vượt gần 60°C ở một số điểm. Điều này cho thấy tình trạng nguy hiểm đã bắt đầu lan rộng, đặc biệt là ở các tầng gần nguồn lửa.

Tại 40 giây: Nhiệt độ trong buồng thang bộ tiếp tục tăng, nhiều điểm đã vượt qua ngưỡng an toàn 60°C. Một số khu vực gần nguồn lửa đã đạt nhiệt độ trên 79°C, cho thấy tình trạng cực kỳ nguy hiểm.

Tại 50 giây: Nhiệt độ trong các buồng thang bộ và khu vực lân cận đạt mức nguy hiểm, tại khu vực nhà bếp vượt quá 79°C. Việc sơ tán người bị nạn qua các khu vực này là rất khó khăn và nguy hiểm.

Tại 60 giây: Nhiệt độ tại các khu vực lân cận nguồn lửa và trong buồng thang bộ tiếp tục tăng, đạt mức cực kỳ nguy hiểm. Khả năng sơ tán an toàn không còn đảm bảo, cần có biện pháp ứng phó khẩn cấp.



a) tại thời điểm 10 giây *b) tại thời điểm 50 giây*

Hình 8. Nhiệt độ tại các thời điểm

3.3. Phân tích khả năng tầm nhìn

Hình 9 thể hiện sự thay đổi tầm nhìn trong buồng thang bộ và các khu vực lân cận tại các thời điểm khác nhau.

Tại 0 giây: Tầm nhìn trong toàn bộ tòa nhà là hoàn hảo, ở mức khoảng 30 m, không có sự cản trở nào do khói.

Tại 10 giây: Khói bắt đầu lan ra từ nguồn lửa, chủ yếu tập trung ở các tầng dưới. Tầm nhìn ở các tầng này bắt đầu giảm, đặc biệt là ở các phòng gần nguồn lửa. Tầm nhìn trong các buồng thang bộ vẫn duy trì ở mức trên 20 m.

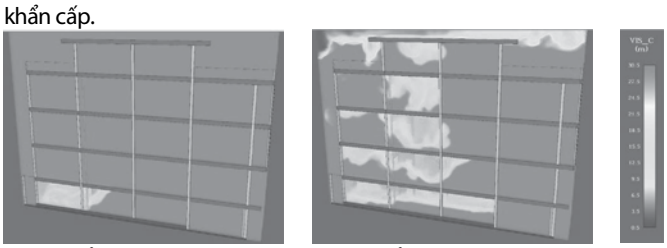
Tại 20 giây: Tầm nhìn tiếp tục giảm nhanh ở các tầng dưới, nhiều khu vực gần nguồn lửa đã có tầm nhìn dưới 10 m. Tầm nhìn trong các buồng thang bộ ở các tầng thấp vẫn ở mức trên 10 m, nhưng đang có xu hướng giảm nhanh chóng.

Tại 30 giây: Khói lan rộng và dày đặc hơn, tầm nhìn trong các phòng gần nguồn lửa giảm xuống dưới 3 m. Tầm nhìn trong các buồng thang bộ ở các tầng thấp hơn đã giảm xuống dưới 10 m, tạo ra nguy cơ cao cho việc sơ tán.

Tại 40 giây: Tầm nhìn trong các phòng lân cận nguồn lửa gần như bằng không. Tầm nhìn trong các buồng thang bộ ở các tầng dưới tiếp tục giảm, nhiều khu vực đã dưới 5 m. Điều này gây khó khăn lớn cho việc sơ tán an toàn.

Tại 50 giây: Tầm nhìn trong các buồng thang bộ và các phòng lân cận nguồn lửa đạt mức nguy hiểm, nhiều khu vực chỉ còn tầm nhìn dưới 3 m. Việc sơ tán qua các khu vực này là rất khó khăn và nguy hiểm.

Tại 60 giây: Tầm nhìn ở các khu vực gần nguồn lửa và trong buồng thang bộ tiếp tục giảm mạnh, ở nhiều nơi chỉ còn dưới 2 m. Khả năng sơ tán an toàn gần như không còn khả thi, cần có biện pháp ứng phó khẩn cấp.

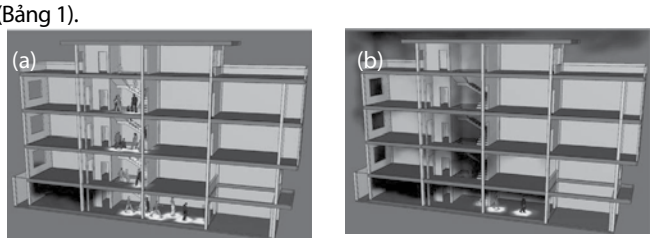


a) tại thời điểm 10 giây *b) tại thời điểm 50 giây*

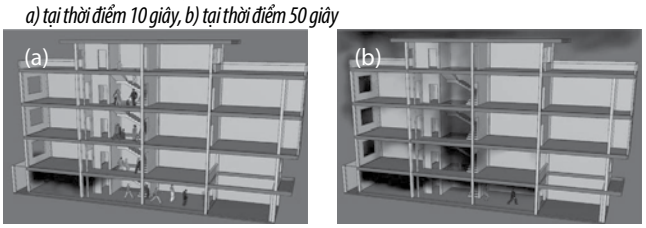
Hình 9. Khả năng tầm nhìn tại các thời điểm

3.4. Phân tích các yếu tố liên quan đến con người khi thoát hiểm

Qua phân tích Hình 10 và Hình 11, có thể nhận thấy rằng tốc độ di chuyển của con người trong các tình huống thoát hiểm được duy trì ổn định, không có sự biến đổi lớn. Mức độ tắc nghẽn cũng không tăng lên đáng kể, cho thấy rằng hệ thống thoát hiểm được thiết kế tương đối hiệu quả, do đó cần đề ra một số biện pháp để tăng thêm sự an toàn cho cư dân trong các tình huống khẩn cấp. Dưới đây là bảng phân tích các yếu tố liên quan đến hành vi di chuyển của con người trong trường hợp xảy ra hỏa hoạn trong công trình dân dụng 5 tầng (Bảng 1).



Hình 10. Tốc độ di chuyển của con người
a) tại thời điểm 10 giây, b) tại thời điểm 50 giây



Hình 11. Mức độ gây tắc nghẽn tại các thời điểm
a) tại thời điểm 10 giây, b) tại thời điểm 50 giây

Bảng 1. *Phân tích các yếu tố ảnh hưởng hành vi di chuyển của con người khi xảy ra hỏa hoạn*

Thời gian (s)	Số người thoát hiểm	Mức độ tắc nghẽn	Tốc độ di chuyển (m/s)	Khu vực bị tắc nghẽn chính	Ghi chú
0	0/32	Không	Thấp	Toàn bộ tòa nhà	Khởi đầu, mọi người còn trong tòa nhà
5	3/32	Rất thấp	Thấp	Cầu thang, lối đi chính	Tắc nghẽn ở các cầu thang và lối đi chính, di chuyển chậm
15	8/32	Thấp	Thấp	Cầu thang, lối đi chính	Một số người đã thoát ra, nhưng vẫn còn tắc nghẽn đáng kể

30	16/32	Rất thấp	Trung bình	Cầu thang, lối đi chính	Một nửa số người đã thoát ra, tắc nghẽn giảm nhưng vẫn còn
45	24/32	Không	Trung bình	Không có khu vực chính	Gần như tất cả đã thoát ra ngoài, tốc độ di chuyển tăng
60	32/32	Không	Cao	Không có	Tất cả mọi người đã thoát ra ngoài, không còn tắc nghẽn

3.5. Tiến hành đánh giá thiết kế để đảm bảo an toàn tối đa

Đánh giá này bao gồm việc kiểm tra và xác nhận rằng tất cả các thành phần của hệ thống PCCC và thoát hiểm đều được thiết kế, lắp đặt và hoạt động theo đúng các tiêu chuẩn và quy định hiện hành, cụ thể như trong Bảng 2.

Bảng 2. *Bảng đánh giá thiết kế đảm bảo an toàn cho công trình dân dụng 5 tầng*

Các phương án thiết kế	Đánh giá thiết kế đảm bảo an toàn
Hệ thống phòng cháy chữa cháy	Hệ thống báo cháy: Lắp đặt các đầu báo cháy tại các khu vực chính: tầng trệt (để xe, phòng khách, kho, bếp, khu ăn uống), tầng lửng (khu vực làm việc), tầng 1 và 2 (phòng ngủ, phòng sinh hoạt), tầng 3 (sân thượng, phòng thờ), tầng mái. Hệ thống cần kết nối với trung tâm báo cháy để đảm bảo phản ứng kịp thời.
Khả năng chịu lửa của công trình	Cấu trúc công trình: Sử dụng vật liệu xây dựng chịu lửa tốt cho cấu trúc công trình, đặc biệt là tại các cột và dầm.
Hệ thống điện	Lắp đặt hệ thống điện an toàn, tránh chập cháy: Đảm bảo hệ thống điện được lắp đặt đúng tiêu chuẩn, sử dụng dây dẫn chống cháy và các thiết bị điện chất lượng cao.
Hệ thống gas	Sử dụng hệ thống gas với thiết bị an toàn như van ngắt tự động và cảm biến khí gas để ngăn ngừa rò rỉ và cháy nổ.
Biện pháp phòng ngừa cháy nổ	Không tàng trữ các chất dễ cháy, nổ trong công trình: Quy định không tàng trữ các chất dễ cháy tại các khu vực như kho và để xe.
Lập kế hoạch thoát hiểm	Xác định các lối thoát hiểm trong công trình: Thiết lập kế hoạch thoát hiểm chi tiết cho toàn bộ công trình, đảm bảo mọi người biết rõ các lối thoát nạn và cách sử dụng thiết bị an toàn.
Đánh giá mức độ nguy hiểm cháy nổ	Xác định các khu vực có nguy cơ cháy nổ cao như bếp, kho và để xe để có biện pháp phòng ngừa đặc biệt.
Tuân thủ các quy định về phòng cháy chữa cháy	Tuân thủ các quy định và tiêu chuẩn về phòng cháy chữa cháy hiện hành, bao gồm việc kiểm tra định kỳ và bảo trì hệ thống phòng cháy chữa cháy.

3.6. Quy trình đề xuất thiết kế hệ thống phòng cháy chữa cháy và hệ thống thoát hiểm

Quy trình đề xuất thiết kế hệ thống phòng cháy chữa cháy và hệ thống thoát hiểm bao gồm nhiều bước quan trọng, bắt đầu từ việc xác định yêu cầu chức năng của hệ thống, lựa chọn các thành phần và thiết bị phù hợp, đến việc lắp đặt và kiểm tra tính hiệu quả của hệ thống. Mỗi bước trong quy trình này đều phải được thực hiện cẩn thận và chi tiết để đảm bảo rằng hệ thống không chỉ đáp ứng các yêu cầu về an toàn mà còn hoạt động hiệu quả trong trường hợp khẩn cấp, cụ thể như Hình 12.

4. KẾT LUẬN

Từ kết quả nghiên cứu, chúng tôi rút ra những kết luận chính sau:

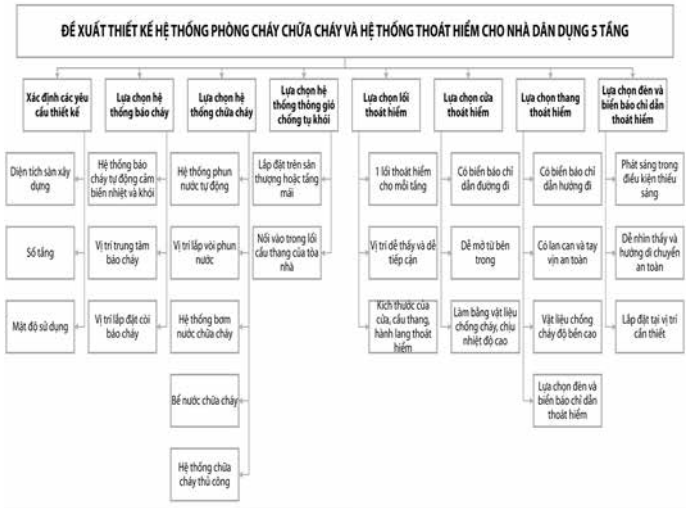
Hiệu quả của BIM trong mô phỏng cháy nổ và thoát hiểm: Ứng dụng công nghệ BIM kết hợp với các phần mềm chuyên dụng như Pyrosim và Pathfinder đã chứng minh khả năng mô phỏng chính xác các tình huống cháy nổ và thoát hiểm. Qua đó, công nghệ này giúp nâng cao hiệu quả quản lý an toàn công trình và tối ưu hóa quy trình thiết kế và thi công.

Phân tích chi tiết quá trình lan truyền khói và nhiệt độ: Kết quả mô phỏng cho thấy quá trình lan truyền khói và tăng nhiệt độ trong tòa nhà xảy ra rất nhanh chóng, đặc biệt tại các khu vực gần nguồn lửa. Tại các thời điểm quan trọng, tầm nhìn và nhiệt độ trong các buồng thang bộ giảm mạnh, gây nguy hiểm lớn cho việc sơ tán an toàn.

Đánh giá nguy cơ và đề xuất biện pháp: Các khu vực có nguy cơ cháy nổ cao như bếp, kho và khu vực để xe được xác định rõ ràng, từ đó đề xuất các biện pháp phòng ngừa đặc biệt và cải thiện hệ thống phòng cháy chữa cháy. Việc tuân thủ các quy định và tiêu chuẩn hiện hành về phòng cháy chữa cháy cũng được nhấn mạnh như một yếu tố quan trọng.

Yếu tố con người trong quá trình thoát hiểm: Mô phỏng quá trình thoát hiểm của con người cho thấy sự tắc nghẽn tại các lối đi và buồng thang bộ trong giai đoạn đầu của đám cháy. Các biện pháp thiết kế lại cấu trúc và bố trí không gian được khuyến nghị nhằm đảm bảo an toàn tối đa cho cư dân trong các tình huống khẩn cấp.

Tầm quan trọng của kiểm tra và bảo trì định kỳ: Việc kiểm tra và bảo trì hệ thống phòng cháy chữa cháy định kỳ là cần thiết để đảm bảo hệ thống hoạt động hiệu quả khi xảy ra sự cố. Điều này giúp tăng cường mức độ an toàn và giảm thiểu rủi ro cho cư dân và công trình.



Hình 12. Đề xuất thiết kế hệ thống phòng cháy chữa cháy và hệ thống thoát hiểm

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Sở Khoa học và Công nghệ TP.HCM thông qua nhiệm vụ nghiên cứu khoa học và công nghệ "Nghiên cứu giải pháp quản lý số theo công nghệ BIM và GIS cho đường sắt đô thị TP.HCM", theo hợp đồng số 30/2022/HĐ-QKHCN ngày 16/9/2022.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. S.-H. Wang, W.-C. Wang, K.-C. Wang, and S.-Y. Shih, "Applying building information modeling to support fire safety management," *Automation in Construction*, vol. 59, pp. 158–167, Nov. 2015, doi: 10.1016/j.autcon.2015.02.001.

[2]. L. Tan, M. Hu, and H. Lin, "Agent-based simulation of building evacuation: Combining human behavior with predictable spatial accessibility in a fire emergency," *Information Sciences*, vol. 295, pp. 53–66, Feb. 2015, doi: 10.1016/j.ins.2014.09.029.

[3]. G. Hu, "Research on the Fire of High-rise Residential Building Based on Pyrosim Numerical Simulation," *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 455, no. 1, p. 012059, Feb. 2020, doi: 10.1088/1755-1315/455/1/012059.

[4]. M. Kobes, I. Helsloot, de Vries, and J. Post, "Building safety and human behaviour in fire: A literature review," *Fire Safety Journal*, vol. 45, pp. 1–11, Jan. 2010, doi: 10.1016/j.firesaf.2009.08.005.

[5]. S. T. Shams Abadi, N. Moniri Tokmehdash, A. Hosny, and M. Nik-Bakht, "BIM-Based Co-Simulation of Fire and Occupants' Behavior for Safe Construction Rehabilitation Planning," *Fire*, vol. 4, no. 4, Art. no. 4, Dec. 2021, doi: 10.3390/fire4040067.

[6]. F. Mirahadi, B. McCabe, and A. Shahi, "IFC-centric performance-based evaluation of building evacuations using fire dynamics simulation and agent-based modeling," *Automation in Construction*, vol. 101, pp. 1–16, May 2019, doi: 10.1016/j.autcon.2019.01.007.

[7]. E. Ronchi and D. Nilsson, "Fire evacuation in high-rise buildings: a review of human behaviour and modelling research," *Fire Sci Rev*, vol. 2, no. 1, p. 7, Nov. 2013, doi: 10.1186/2193-0414-2-7.