NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG HỆ THỐNG HUẤN LUYỆN AN TOÀN LAO ĐỘNG VÀ TẬP HUẤN CỨU HỘ, CỨU NẠN TRONG KHAI THÁC THAN HẦM LÒ DỰA TRÊN CÔNG NGHỆ THỰC TẾ ẢO

Nguyễn Thế Truyện[1], Nguyễn Xuân Đồng[1], Trần Hải Dương[1], Nguyễn Danh Dũng[1], Nguyễn Phan Quyền[1], Nguyễn Lê Thùy Dương[1,*], Nguyễn Thế Vinh[1], Nhữ Việt Hùng[2]

[1]Viện Nghiên cứu Điện tử, Tin học, Tự động hóa, 156 A, Quán Thánh, Hà Nội, Việt Nam
[2]Trường Đại học Mỏ - Địa chất, 18 Phố Viên, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO
CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học
Ngày nhận bài: 19/6/2026
Ngày nhận bài sửa: 25/7/2026
Ngày chấp nhận đăng: 27/7/2026
[1,*]Tác giả liên hệ:
Email: duongthuynl@gmail.com

TÓM TẮT

Khai thác than hầm lò là lĩnh vực sản xuất có mức độ rủi ro cao, đòi hỏi công tác huấn luyện an toàn lao động (ATLĐ) và cứu hộ, cứu nạn (CH-CN) phải được thực hiện thường xuyên và hiệu quả. Tuy nhiên, các phương pháp huấn luyện truyền thống còn gặp khó khăn trong việc tái hiện các tình huống nguy hiểm như cháy nổ khí mê tan, sập đổ đường lò, bục nước... Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu, thiết kế và xây dựng hệ thống huấn luyện ATLĐ và tập huấn CH-CN trong khai thác than hầm lò dựa trên công nghệ thực tế ảo (Virtual Reality - VR). Hệ thống được phát triển trên nền tảng Unity, sử dụng công nghệ Mirror Networking để hỗ trợ huấn luyện đa người dùng trong môi trường mạng LAN. Nội dung huấn luyện được xây dựng phù hợp với điều kiện khai thác than hầm lò tại Việt Nam, gồm bốn kịch bản ATLĐ về sập đổ đường lò, cháy thiết bị điện, bục nước và cháy nổ khí mê tan, cùng một kịch bản CH-CN đa người dùng mô phỏng sự cố nổ khí mê tan. Hệ thống cho phép giáo viên tổ chức huấn luyện, theo dõi hoạt động học viên và đánh giá kết quả. Kết quả thử nghiệm cho thấy hệ thống hoạt động ổn định, đáp ứng yêu cầu huấn luyện và có tiềm năng ứng dụng trong công tác huấn luyện ATLĐ và CH-CN ngành than.

Từ khóa: *thực tế ảo, an toàn lao động, cứu hộ cứu nạn, khai thác than hầm lò.*

@ Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khai thác than hầm lò là một trong những lĩnh vực sản xuất có mức độ rủi ro cao nhất trong ngành công nghiệp khai khoáng. Trong quá trình khai thác, người lao động thường xuyên phải làm việc trong môi trường không gian hạn chế, điều kiện địa chất phức tạp và chịu tác động của nhiều yếu tố nguy hiểm như cháy nổ khí mê tan, bục nước, sập đổ đường lò... Theo Công ước số 176 của Tổ chức Lao động Quốc tế, công tác huấn luyện an toàn lao động được xem là một trong những biện pháp quan trọng nhất nhằm giảm thiểu tai nạn và bảo vệ sức khỏe người lao động trong môi trường khai thác mỏ [1].

Trong những năm gần đây, cùng với xu hướng chuyển đổi số và sự phát triển của công nghệ VR, nhiều quốc gia có ngành công nghiệp khai khoáng phát triển đã đẩy mạnh ứng dụng công nghệ này trong đào tạo ATLĐ và CH-CN. Các nghiên cứu cho thấy VR có khả năng tái hiện các tình huống nguy hiểm trong môi trường có kiểm soát, cho phép học viên luyện tập nhiều lần mà không gây ảnh hưởng đến sản xuất hoặc phát sinh rủi ro đối với con người [2]-[8].

Tại Hoa Kỳ, Viện Quốc gia về An toàn và Sức khỏe nghề nghiệp (NIOSH) đã phát triển nền tảng VR Mine trên nền tảng Unity, cho phép xây dựng các mô hình mỏ ảo phục vụ đào tạo, nghiên cứu hành vi người lao động và đánh giá các tình huống an toàn. Trên cơ sở đó, NIOSH tiếp tục phát triển nền tảng VR Mine Rescue Training (hệ thống huấn luyện cứu hộ mỏ trong môi trường thực tế ảo) với khả năng hỗ trợ nhiều người dùng đồng thời, cho phép các thành viên đội cứu hộ phối hợp xử lý tình

huống thông qua môi trường mô phỏng dùng chung [2], [3].

Tại Trung Quốc, công nghệ VR được tích hợp vào các hệ thống mỏ thông minh nhằm phục vụ đào tạo an toàn, nhận diện nguy cơ và diễn tập ứng phó thảm họa. Nhiều nghiên cứu cho thấy việc sử dụng VR giúp nâng cao khả năng ghi nhớ quy trình an toàn, cải thiện kỹ năng nhận diện rủi ro và tăng hiệu quả huấn luyện so với các phương pháp đào tạo truyền thống. Bên cạnh đó, các mô hình cứu hộ mỏ dựa trên VR cũng được nghiên cứu nhằm hỗ trợ huấn luyện phối hợp lực lượng cứu nạn trong các tình huống khẩn cấp [4]-[6].

Tại Úc, các tổ chức cứu hộ mỏ chuyên nghiệp như Queensland Mines Rescue Service và NSW Mines Rescue đã triển khai các nền tảng đào tạo mô phỏng phục vụ huấn luyện cứu hộ và diễn tập ứng phó sự cố trong môi trường khai thác than hầm lò. Các nghiên cứu và ứng dụng thực tiễn cho thấy công nghệ VR có khả năng tạo ra môi trường huấn luyện an toàn, trực quan và cho phép tái hiện các tình huống nguy hiểm khó có thể tổ chức trong điều kiện thực tế [7], [8].

Tại Việt Nam, công tác huấn luyện ATLĐ trong khai thác than hầm lò được thực hiện theo Luật an toàn, vệ sinh lao động số 84/2015/QH13, Nghị định số 44/2016/NĐ-CP, QCVN 01:2011/BCT và các quy định nội bộ của TKV. Nội dung đào tạo tập trung vào trang bị kiến thức pháp luật, nhận diện nguy cơ mất an toàn, quy trình vận hành thiết bị và kỹ năng ứng phó sự cố. Tuy nhiên, hoạt động huấn luyện hiện nay vẫn chủ yếu dựa trên phương pháp giảng dạy lý thuyết kết hợp thực hành tại hiện trường. Đối với các tình huống có mức độ nguy hiểm cao như cháy nổ khí mê tan, sập đổ đường lò, bục nước… việc tổ chức diễn tập thường xuyên gặp nhiều khó khăn do yêu cầu chi phí lớn, tiềm ẩn các rủi ro về an toàn.

Trong bối cảnh chuyển đổi số đang được thúc đẩy mạnh mẽ trong ngành công nghiệp khai khoáng, công nghệ thực tế ảo được xem là một giải pháp tiềm năng nhằm nâng cao hiệu quả đào tạo ATLĐ và CH-CN. Mặc dù VR đã được ứng dụng trong một số lĩnh vực tại Việt Nam như giáo dục, y tế và công nghiệp, song việc ứng dụng công nghệ này trong đào tạo ATLĐ và CH-CN cho khai thác than hầm lò vẫn còn hạn chế. Qua khảo sát các tài liệu công bố trong nước, chưa ghi nhận được công trình nghiên cứu về các hệ thống huấn luyện cho môi trường mỏ hầm lò.

Xuất phát từ yêu cầu thực tiễn nêu trên, bài báo đề xuất mô hình hệ thống huấn luyện ATLĐ và CH-CN dựa trên công nghệ VR cho các mỏ than hầm lò. Trong phạm vi nghiên cứu, hệ thống tập trung xây dựng bốn kịch bản ATLĐ gồm sập đổ đường lò, cháy thiết bị điện, bục nước và cháy nổ khí mê tan, cùng một kịch bản CH-CN đa người dùng đối với sự cố nổ khí mê tan. Nghiên cứu thực hiện thiết kế kiến trúc tổng thể, phát triển các kịch bản mô phỏng và đánh giá khả năng vận hành ban đầu của hệ thống thông qua thử nghiệm trong phòng thí nghiệm, làm cơ sở cho việc triển khai tại Trung tâm Cấp cứu Mỏ. Kết quả nghiên cứu góp phần mở rộng ứng dụng công nghệ số trong công tác đào tạo an toàn, tạo cơ sở nâng cao năng lực ứng phó sự cố và thúc đẩy quá trình chuyển đổi số trong ngành than Việt Nam.

Trên cơ sở kế thừa các nền tảng công nghệ hiện có, đóng góp của nghiên cứu tập trung ở lớp ứng dụng chuyên ngành, bao gồm: kiến trúc tích hợp hệ thống VR đa người dùng trong mạng LAN; phương pháp chuyển hóa quy trình ATLĐ và CH-CN thành chuỗi nhiệm vụ có điều kiện và phân vai; cơ chế đồng bộ trạng thái nghiệp vụ, tiến trình và kết quả huấn luyện giữa máy chủ và các máy trạm; cùng thư viện mô hình 3D và dữ liệu kịch bản đặc trưng cho môi trường khai thác than hầm lò Việt Nam. Kết quả góp phần mở rộng ứng dụng công nghệ số trong đào tạo an toàn và tạo nền tảng nâng cao năng lực ứng phó sự cố của ngành than.

2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Thu thập dữ liệu

Quá trình xây dựng hệ thống huấn luyện ATLĐ và CH-CN dựa trên công nghệ thực tế ảo đòi hỏi sự kết hợp giữa dữ liệu nghiệp vụ ngành than và các kết quả nghiên cứu khoa học đã được công bố trong lĩnh vực đào tạo mô phỏng, thực tế ảo và cứu hộ mỏ. Trước hết, nhóm nghiên cứu tiến hành khảo sát nhu cầu thực tiễn của người sử dụng, thu thập và phân tích các tài liệu, bài giảng huấn luyện ATLĐ và CH-CN truyền thống cùng các văn bản quy phạm pháp luật hiện hành để xây dựng nội dung và kịch bản huấn luyện phù hợp. Tiếp theo, nhóm nghiên cứu thực hiện khảo sát thực địa tại mỏ, thu thập dữ liệu hình ảnh, bản vẽ kỹ thuật, kích thước hình học, thông số kỹ thuật và đặc điểm cấu tạo của không gian hầm lò cũng như các thiết bị phục vụ sản xuất, an toàn lao động và cứu hộ cứu nạn. Các dữ liệu này được sử dụng để xây dựng mô hình 3D và tái hiện môi trường huấn luyện có mức độ tương đồng cao với điều kiện làm việc thực tế. Nguồn dữ liệu quan trọng khác là các công trình khoa học liên quan cũng được nghiên cứu, tham khảo nhằm đề xuất kiến trúc hệ thống và phát triển kiến trúc phần mềm phù hợp với điều kiện khai thác than hầm lò tại Việt Nam.

Theo Luật An toàn, vệ sinh lao động số 84/2015/QH13, Nghị định số 44/2016/NĐ-CP, Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia QCVN 01:2011/BCT và

Quy chế quản lý an toàn, vệ sinh lao động của TKV, nghiên cứu thu thập và hệ thống hóa các dữ liệu liên quan đến nội dung huấn luyện bắt buộc đối với người lao động làm việc trong mỏ hầm lò, yêu cầu về tổ chức huấn luyện định kỳ, các quy trình xử lý tình huống mất an toàn và các quy định về tổ chức lực lượng cứu hộ cứu nạn. Kết quả phân tích cho thấy các nội dung huấn luyện có tần suất xuất hiện cao và ảnh hưởng trực tiếp đến an toàn sản xuất bao gồm nhận diện nguy cơ mất an toàn, thoát nạn khẩn cấp, sử dụng thiết bị bảo hộ cá nhân, xử lý sự cố cháy nổ khí mỏ và phối hợp cứu hộ trong môi trường hầm lò.

Thông qua khảo sát tại Trung tâm Cấp cứu Mỏ, nhóm nghiên cứu thu thập dữ liệu về quy trình tổ chức CH-CN, bao gồm tiếp nhận thông tin sự cố, huy động lực lượng cứu hộ, tiếp cận hiện trường, tìm kiếm người bị nạn, sơ cấp cứu và vận chuyển nạn nhân. Đồng thời, các tình huống sự cố thường được sử dụng trong huấn luyện và diễn tập cũng được ghi nhận và phân tích. Kết quả khảo sát cho thấy các tình huống cháy nổ khí mê tan, sập đổ đường lò… là những bài toán huấn luyện có tính đặc thù cao, khó tổ chức thực hành thường xuyên trong điều kiện thực tế nhưng có ý nghĩa quan trọng đối với việc nâng cao khả năng ứng phó sự cố của lực lượng cứu hộ, cứu nạn.

Để xây dựng phần mềm hệ thống, nhóm nghiên cứu tiến hành thu thập dữ liệu về không gian hầm lò và các thiết bị phục vụ sản xuất, cứu hộ cứu nạn. Dữ liệu bao gồm hình ảnh thực tế, bản vẽ kỹ thuật, kích thước hình học, thông số kỹ thuật và đặc điểm cấu tạo của các thiết bị khai thác, vận tải và cứu hộ. Các dữ liệu này được sử dụng để xây dựng mô hình ba chiều và tái hiện môi trường huấn luyện có mức độ tương đồng cao với điều kiện làm việc thực tế trong mỏ hầm lò. Tổng hợp từ danh mục thiết bị cần thiết cho thấy hệ thống mô phỏng cần xây dựng một tập hợp đối tượng 3D tương đối đa dạng, bao gồm các nhóm chính như thiết bị bảo hộ cá nhân, thiết bị đo kiểm và liên lạc, thiết bị điện phòng nổ, phương tiện và hệ thống vận tải trong lò, dụng cụ lao động, thiết bị cứu hộ cứu nạn, vật tư y tế sơ cấp cứu, cùng các công trình và hạ tầng đặc trưng của mỏ hầm lò. Bên cạnh các đối tượng có khả năng tương tác trực tiếp với người học như bình tự cứu, máy đo khí, bộ đàm, bình chữa cháy, aptomat, khởi động từ hay các dụng cụ cầm tay, hệ thống còn phải tái hiện đầy đủ các thành phần môi trường như đường lò, băng tải, đường ray, cột chống, quạt gió, đường ống gió, phòng bảo vệ, nhà giao ca và các công trình phụ trợ trên mặt bằng. Tổng cộng, số lượng đối tượng cần thiết kế và tích hợp lên tới hàng chục loại thiết bị và hạng mục khác nhau, trong đó nhiều thiết bị có yêu cầu mô phỏng thao tác sử dụng, trạng thái hoạt động và khả năng tương tác theo kịch bản huấn luyện. Khối lượng dữ liệu này tạo cơ sở để xây dựng môi trường thực tế ảo có độ chân thực cao, đáp ứng đồng thời các yêu cầu huấn luyện an toàn lao động và diễn tập cứu hộ cứu nạn trong điều kiện sản xuất hầm lò. Trong quá trình khảo sát, nhóm nghiên cứu thực hiện chụp ảnh hiện trạng thiết bị từ nhiều góc độ khác nhau nhằm thu thập đầy đủ thông tin về hình dạng, kết cấu và các chi tiết đặc trưng phục vụ quá trình dựng mô hình 3D. Hình 1 minh họa bộ ảnh khảo sát bình tự cứu PVM KS, một trong những thiết bị bảo hộ quan trọng được sử dụng làm dữ liệu đầu vào cho quá trình thiết kế mô hình số.

Trong phạm vi bài báo, dữ liệu đầu vào được hệ thống hóa và lượng hóa theo các nhóm trực tiếp phục vụ xây dựng nội dung, kịch bản và môi trường mô phỏng. Nguồn dữ liệu gồm: 04 văn bản pháp lý và quy định chuyên ngành; 03 nội dung huấn luyện ATLĐ khảo sát tại Trung tâm Cấp cứu Mỏ; 07 công trình khoa học liên quan; và 02 phương án kịch bản CH-CN, gồm sự cố sụt lò và nổ khí mê tan. Trong đó, kịch bản nổ khí mê tan tại lò dọc vỉa vận tải mức −150 V7 được lựa chọn để triển khai.

Dữ liệu mô hình hóa gồm 08 nhóm đối tượng 3D, 07 loại đối tượng tương tác chính của phân hệ ATLĐ và 21 loại thiết bị, dụng cụ, vật tư của phân hệ CH-CN. Kịch bản CH-CN sử dụng 05 thông số môi trường tại 08 vị trí đo và tác nghiệp, gồm 04 vị trí cứu nạn và 04 vị trí thủ tiêu sự cố; đồng thời thiết lập 03 trạng thái nạn nhân và 03 mức mở thiết bị hòa loãng không khí tương ứng 25%, 50% và 100%. Ảnh khảo sát, bản vẽ và thông số kỹ thuật chỉ được sử dụng để mô tả từng đối tượng, không tính là các mẫu dữ liệu độc lập.



Hình 1. Các góc độ bình tự cứu 1 PVM KS khi khảo sát thu thập dữ liệu

Trên cơ sở dữ liệu thu thập được, nghiên cứu thực hiện phân tích theo ba hướng. Thứ nhất, phân tích nghiệp vụ nhằm xác định các quy trình an toàn và cứu hộ cần được chuyển đổi thành các kịch bản huấn luyện trong môi trường thực tế ảo. Thứ hai, phân tích yêu cầu người dùng nhằm xây dựng các đặc tả chức năng và đặc tả phi chức năng của hệ thống. Thứ ba, phân tích các mô hình và kiến trúc hệ thống VR đã được công bố nhằm lựa chọn giải pháp kiến trúc phù hợp cho việc phát triển nền tảng huấn luyện đa người dùng trong điều kiện mạng nội bộ của các cơ sở đào tạo ngành than. Kết quả phân tích dữ liệu tạo thành cơ sở khoa học và thực tiễn cho việc xây dựng kịch bản huấn luyện, thiết kế kiến trúc và xây dựng hệ thống được trình bày trong các mục tiếp theo của bài báo.

2.2. Xây dựng kịch bản huấn luyện

Kịch bản huấn luyện là thành phần cốt lõi của hệ thống, quyết định nội dung đào tạo, mức độ tương tác và hiệu quả ứng dụng công nghệ thực tế ảo trong công tác huấn luyện ATLĐ và CH-CN. Các kịch bản được xây dựng dựa trên quy trình huấn luyện hiện đang áp dụng tại Trung tâm Cấp cứu Mỏ - Vinacomin, các quy chuẩn và quy định an toàn trong khai thác than hầm lò, tài liệu huấn luyện nghiệp vụ và các tình huống sự cố đã xảy ra trong thực tế sản xuất. Bên cạnh việc nghiên cứu tài liệu, nhóm nghiên cứu còn tiến hành khảo sát thực tế và trao đổi nghiệp vụ với các cán bộ quản lý, cán bộ huấn luyện và lực lượng cứu hộ mỏ nhằm bảo đảm nội dung kịch bản phù hợp với điều kiện sản xuất và yêu cầu đào tạo của ngành than.

Việc xây dựng kịch bản tuân thủ các nguyên tắc: bám sát điều kiện làm việc thực tế trong mỏ hầm lò; bảo đảm tính chính xác của quy trình nghiệp vụ; tăng cường khả năng tương tác của người học; hỗ trợ đánh giá kết quả huấn luyện; đồng thời phù hợp với khả năng triển khai của hệ thống thực tế ảo. Khác với hình thức đào tạo truyền thống chủ yếu dựa trên bài giảng lý thuyết hoặc các tình huống minh họa, các kịch bản trong môi trường thực tế ảo được thiết kế theo dạng tình huống động, cho phép học viên trực tiếp tham gia xử lý tình huống, đưa ra quyết định và thực hiện các thao tác tương tự như trong điều kiện sản xuất thực tế. Để chuyển hóa quy trình nghiệp vụ thành kịch bản VR, mỗi bài huấn luyện được phân rã thành các nhiệm vụ cụ thể, bao gồm mục tiêu, vai trò người tham gia, điều kiện ban đầu, thao tác cần thực hiện, điều kiện chuyển bước và tiêu chí ghi nhận kết quả. Tại các bước có tính quyết định, kịch bản được thiết kế theo các nhánh xử lý đúng hoặc sai, từ đó kích hoạt diễn biến và kết quả tương ứng trong môi trường mô phỏng. Do khuôn khổ bài báo có hạn, nội dung dưới đây chỉ trình bày tóm tắt cấu trúc và phạm vi các nhóm kịch bản đã xây dựng.

Nhóm kịch bản thứ nhất là kịch bản huấn luyện ATLĐ, được xây dựng nhằm hỗ trợ người lao động nhận diện và xử lý các nguy cơ mất an toàn thường gặp trong khai thác than hầm lò. Nội dung huấn luyện được tổ chức theo chuỗi hoạt động tương tự một ca sản xuất thực tế, từ giai đoạn giao ca, chuẩn bị trang thiết bị bảo hộ, thực hiện các thao tác trong hầm lò cho đến nhận diện và xử lý các tình huống bất thường phát sinh. Mỗi bài huấn luyện gồm hai hợp phần: phần nhiệm vụ chung về giao nhận ca, chuẩn bị phương tiện bảo vệ cá nhân, khai báo và di chuyển an toàn trong mỏ; phần nhiệm vụ chuyên biệt về nhận diện và xử lý nguy cơ tương ứng với từng tình huống. Các thiết bị bảo hộ, phương tiện sản xuất, thiết bị an toàn và điều kiện môi trường được mô phỏng theo hiện trạng sử dụng tại các mỏ than hầm lò thuộc Tập đoàn TKV nhằm nâng cao tính thực tiễn của bài huấn luyện. Nhóm kịch bản này bao gồm bốn bài huấn luyện đại diện cho các nhóm nguy cơ điển hình và có khả năng gây hậu quả nghiêm trọng trong khai thác than hầm lò, gồm: nhận diện và xử lý nguy cơ sập đổ đường lò; nhận diện và xử lý nguy cơ cháy thiết bị điện; nhận diện và xử lý nguy cơ bục nước; nhận diện và xử lý nguy cơ cháy nổ khí mê tan. Trong quá trình huấn luyện, học viên phải trực tiếp thực hiện các thao tác kiểm tra hiện trường, nhận diện dấu hiệu nguy hiểm, đánh giá mức độ rủi ro và lựa chọn biện pháp xử lý phù hợp theo quy trình an toàn hiện hành. Hệ thống đồng thời ghi nhận kết quả thực hiện để phục vụ công tác đánh giá và theo dõi quá trình học tập. Tại mỗi nhiệm vụ, trường hợp nhận diện và xử lý đúng, học viên được chuyển sang bước tiếp theo và hoàn thành bài huấn luyện sau khi thực hiện đầy đủ chuỗi nhiệm vụ; trường hợp thao tác sai hoặc bỏ sót nguy cơ, hệ thống kích hoạt mô phỏng hậu quả tương ứng để học viên nhận biết tác động của quyết định không phù hợp.

Nhóm kịch bản thứ hai là kịch bản CH-CN, được xây dựng phục vụ đào tạo lực lượng cấp cứu Mỏ trong môi trường thực tế ảo đa người dùng. Kịch bản được phát triển trên cơ sở các quy trình cứu hộ thực tế đang áp dụng tại Trung tâm Cấp cứu Mỏ và tập trung mô phỏng tình huống nổ khí mê tan trong hầm lò, một trong những dạng sự cố đặc biệt nguy hiểm trong khai thác than hầm lò. Trong quá trình xây dựng, nghiên cứu đã xem xét hai phương án gồm cứu hộ sự cố sập đổ đường lò và cứu hộ sự cố nổ khí mê tan. Trên cơ sở tham vấn chuyên gia và xem xét điều kiện thiết bị, thời gian và khối lượng triển khai, kịch bản cứu hộ sự

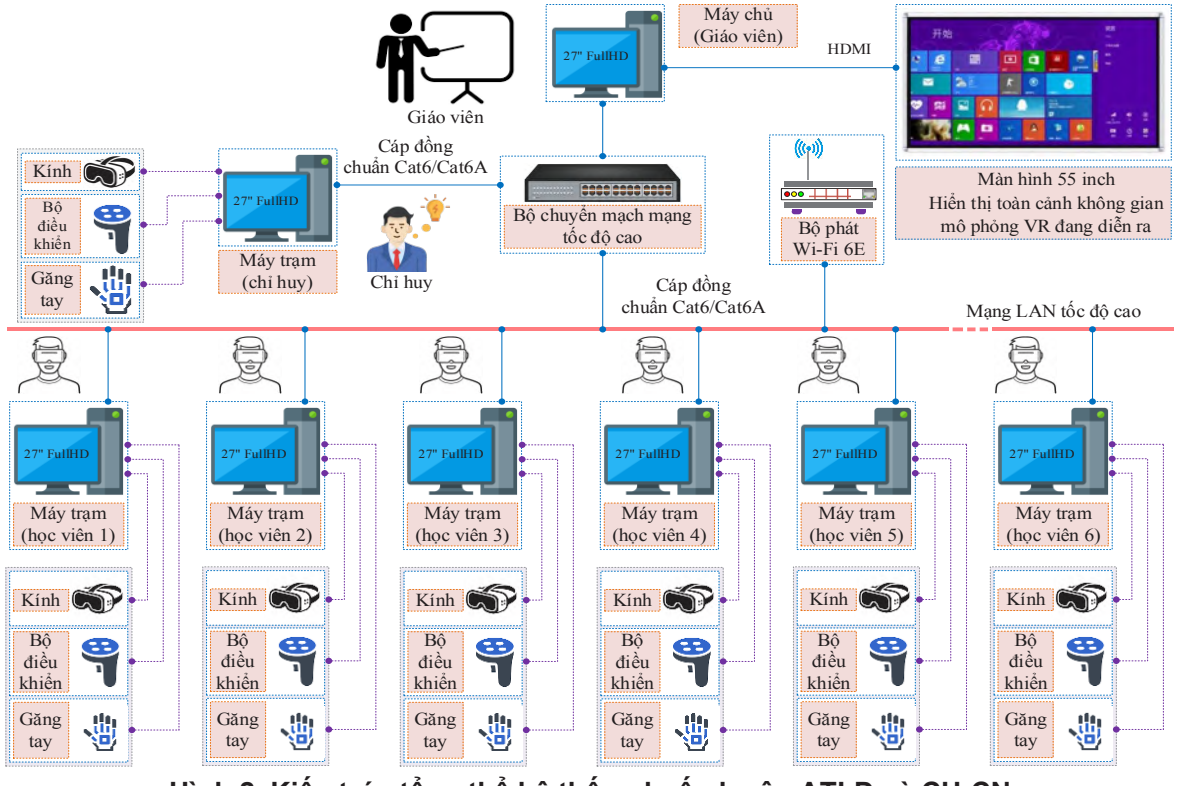
cố nổ khí mê tan được lựa chọn để phát triển trong hệ thống VR.

Khác với các bài huấn luyện ATLĐ mang tính cá nhân, kịch bản CH-CN được tổ chức theo mô hình đa người dùng gồm một giáo viên, một chỉ huy và một tiểu đội sáu người, trong đó các thành viên đảm nhận các vai trò tiểu đội trưởng, tiểu đội phó và đội viên cứu hộ. Nội dung huấn luyện bao quát các nhiệm vụ nghiệp vụ chủ yếu của lực lượng cứu hộ mỏ, bao gồm tiếp nhận thông tin sự cố, tổ chức lực lượng, chuẩn bị trang thiết bị chuyên dụng, trinh sát hiện trường, đo kiểm môi trường khí, tìm kiếm và sơ cứu nạn nhân, vận chuyển nạn nhân đến vị trí an toàn và triển khai các biện pháp thủ tiêu sự cố. Trong giai đoạn thủ tiêu sự cố, tiểu đội thực hiện lắp đặt quạt gió cục bộ, ống gió mềm và thiết bị pha loãng khí; điều chỉnh độ mở theo các mức 25%, 50% và 100%; đồng thời đo, báo cáo các thông số khí cho đến khi khu vực đạt điều kiện an toàn. Không gian mô phỏng được xây dựng trên cơ sở cấu trúc thực tế của hệ thống đường lò, tích hợp các thiết bị cứu hộ chuyên dụng cùng các hiệu ứng khói, nhiệt độ, âm thanh cảnh báo và sự thay đổi trạng thái môi trường theo thời gian thực nhằm nâng cao tính nhập vai và khả năng phản ứng của học viên trong các tình huống khẩn cấp.

Trong phạm vi nghiên cứu, phân hệ CH-CN được xây dựng theo mô hình gồm một giáo viên, một chỉ huy và một tiểu đội sáu người, đại diện cho một đơn vị phối hợp cứu hộ trong cơ cấu huấn luyện thực tế gồm ba chỉ huy và bốn tiểu đội. Các thông số khí và trạng thái môi trường được thiết lập theo diễn biến của kịch bản nhằm tái hiện các điều kiện cần thiết cho việc thực hành trinh sát, cứu nạn và thủ tiêu sự cố. Việc triển khai theo mô hình này cho phép đánh giá khả năng phối hợp giữa nhiều người dùng trong quá trình thực hiện các bước nghiệp vụ chính của kịch bản nổ khí mê tan, đồng thời tạo cơ sở để mở rộng quy mô lực lượng và các biến thể tình huống trong những nghiên cứu tiếp theo. Trên cơ sở các kịch bản đã xây dựng, phần cứng và phần mềm của hệ thống được thiết kế như trình bày trong các mục tiếp theo của bài báo.

2.3. Thiết kế hệ thống

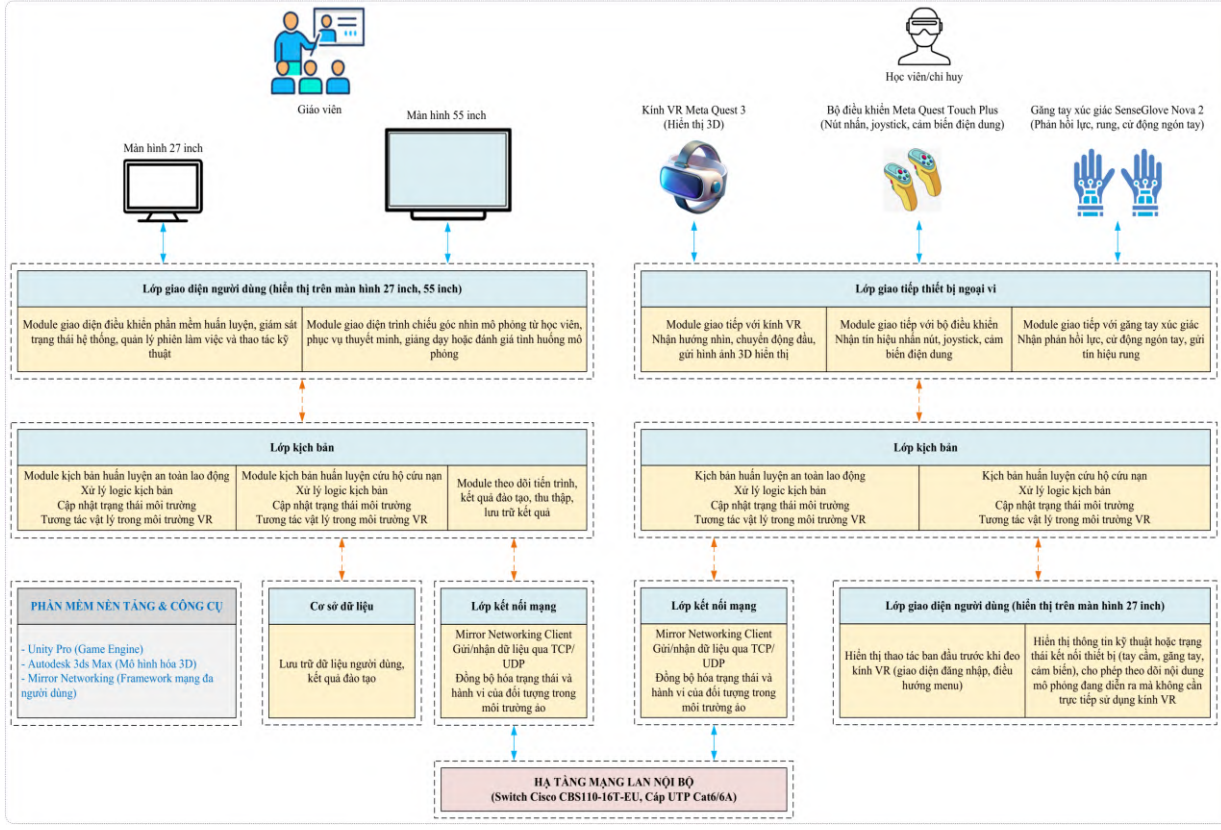
Trên cơ sở phân tích các công trình liên quan [2]-[8] và yêu cầu của các kịch bản huấn luyện đã xây dựng, hệ thống được thiết kế theo năm nguyên tắc: (i) tái hiện các thành phần cần thiết của môi trường mỏ; (ii) hỗ trợ tương tác nhập vai; (iii) tổ chức được huấn luyện cá nhân và đa người dùng; (iv) theo dõi, đánh giá và lưu trữ kết quả; và (v) cho phép bổ sung kịch bản. Kiến trúc Client-Server trong mạng LAN được lựa chọn để máy chủ duy trì trạng thái phiên thống nhất, còn các máy trạm đảm nhiệm kết xuất và tiếp nhận tương tác (Hình 2).



Hình 2. Kiến trúc tổng thể hệ thống huấn luyện ATLĐ và CH-CN

Hình 2 cho thấy, trong kiến trúc này, máy chủ đóng vai trò trung tâm quản lý phiên huấn luyện, điều phối dữ liệu và đồng bộ trạng thái của môi trường mô phỏng. Các máy trạm học viên chịu trách nhiệm xử lý đồ họa, vận hành môi trường thực tế ảo và tiếp nhận dữ liệu từ các thiết bị tương tác. Cấu trúc này cho phép hệ thống duy trì khả năng đồng bộ thời gian thực giữa các học viên, đồng thời hỗ trợ giáo viên theo dõi, quản lý và đánh giá quá trình huấn luyện. Để bảo đảm khả năng kết nối và đồng bộ dữ liệu giữa các thành phần, toàn bộ hệ thống được triển khai trên mạng LAN tốc độ Gigabit Ethernet. Kiến trúc mạng này bảo đảm độ trễ thấp, tốc độ truyền dữ liệu ổn định và khả năng đồng bộ thời gian thực giữa máy chủ và các máy trạm học viên. Nhờ đó, hệ thống có thể tổ chức các phiên huấn luyện cá nhân đối với các bài ATLĐ hoặc các phiên huấn luyện nhiều người dùng đối với các bài CH-CN, trong đó giáo viên và học viên cùng tham gia trong một môi trường mô phỏng thống nhất, mọi thao tác và trạng thái của các đối tượng được cập nhật đồng bộ theo thời gian thực.

Phần mềm huấn luyện được phát triển trên nền tảng Unity bằng ngôn ngữ lập trình C#. Unity được lựa chọn nhờ khả năng xây dựng môi trường 3D thời gian thực, hỗ trợ tốt các thiết bị thực tế ảo và cho phép tích hợp các công nghệ mạng phục vụ huấn luyện đa người dùng. Kiến trúc phần mềm, Hình 3, được tổ chức theo mô hình mô-đun nhằm bảo đảm khả năng mở rộng và thuận lợi trong quá trình phát triển. Các mô-đun chính bao gồm mô-đun quản lý người dùng, mô-đun quản lý phiên huấn luyện, mô-đun mô phỏng môi trường thực tế ảo, mô-đun tương tác thiết bị, mô-đun đánh giá kết quả và mô-đun lưu trữ dữ liệu. Để hỗ trợ huấn luyện đa người dùng, hệ thống sử dụng Mirror Networking (công nghệ đồng bộ trạng thái, vị trí và tương tác của nhiều người dùng trong cùng môi trường ảo theo thời gian thực), cho phép các học viên và giáo viên cùng tham gia một phiên huấn luyện với khả năng đồng bộ dữ liệu theo thời gian thực.



Hình 3. Kiến trúc phần mềm hệ thống huấn luyện ATLĐ và CH-CN

Hệ thống được phát triển trên cơ sở kết hợp các nền tảng, thư viện và thiết bị sẵn có với các thành phần phần mềm do nhóm nghiên cứu thiết kế theo yêu cầu nghiệp vụ huấn luyện ATLĐ và CH-CN trong mỏ than hầm lò. Các công nghệ kế thừa đảm nhiệm việc dựng hình, tích hợp thiết bị và cung cấp cơ chế kết nối cơ bản; trong khi các thành phần tự phát triển tập trung vào mô hình hóa nghiệp vụ, tổ chức kịch bản, tương tác người dùng, đồng bộ trạng thái phiên và quản lý kết quả huấn luyện. Việc phân định cụ thể được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Phân định các thành phần kế thừa và tự phát triển của hệ thống

Lớp hệ thống	Thành phần kế thừa	Thành phần do nhóm nghiên cứu phát triển
Môi trường và mô hình	Unity; Autodesk 3ds Max	Thư viện mô hình 3D chuyên ngành gồm đường lò, công trình, thiết bị sản xuất, thiết bị ATLĐ và CH-CN, được xây dựng trên cơ sở dữ liệu khảo sát thực tế
Thiết bị tương tác	SDK Meta Quest 3; SDK SenseGlove Nova 2	Cơ chế ánh xạ thao tác người dùng, xác định vùng tương tác và tạo phản hồi theo yêu cầu của từng nhiệm vụ nghiệp vụ
Phần mềm huấn luyện VR	Các thư viện và công cụ hỗ trợ phát triển ứng dụng VR trên Unity	Phần mềm huấn luyện VR ATLD_VR01; logic nhiệm vụ–trạng thái; điều khiển tương tác với đối tượng VR; phân nhánh kịch bản; ghi nhận sự kiện và module chấm điểm
Mạng đa người dùng	Mirror Networking: kết nối, truyền dữ liệu và đồng bộ đối tượng cơ bản	Cấu trúc sự kiện nghiệp vụ; phân quyền người dùng theo vai trò; cơ chế cập nhật, đồng bộ và phát trạng thái phiên huấn luyện
Quản lý và đánh giá	Web API; hệ quản trị cơ sở dữ liệu	Mô hình dữ liệu; Web API nghiệp vụ; phần mềm VR_Management thực hiện cấu hình hệ thống, quản lý người dùng và phiên huấn luyện, giám sát quá trình thực hiện, lưu trữ, tìm kiếm và tổng hợp kết quả

Như thể hiện trong Bảng 1, nghiên cứu không xây dựng lại các công cụ dựng hình, trình điều khiển thiết bị hoặc giao thức kết nối cơ bản của Unity, các SDK và Mirror Networking. Đóng góp kỹ thuật của nghiên cứu tập trung ở lớp ứng dụng, bao gồm thư viện mô hình 3D chuyên ngành, logic nhiệm vụ–trạng thái, cơ chế tương tác với đối tượng VR, phân nhánh kịch bản, chấm điểm, tổ chức phiên huấn luyện đa người dùng theo vai trò và quản lý dữ liệu huấn luyện.

Trong đó, ATLD_VR01 là tên nhãn hiệu của phần mềm huấn luyện VR do nhóm nghiên cứu phát triển; nhóm nghiên cứu đã nộp đơn đăng ký nhãn hiệu này. Phần mềm ATLD_VR01 đảm nhiệm việc thực thi kịch bản, xử lý tương tác, ghi nhận sự kiện và chấm điểm kết quả thực hiện. Phần mềm VR_Management thực hiện cấu hình hệ thống, quản lý người dùng và phiên huấn luyện, giám sát hoạt động, đồng thời lưu trữ và khai thác kết quả thông qua các Web API nghiệp vụ.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả xây dựng hệ thống

Kết quả nghiên cứu đã xây dựng hoàn chỉnh hệ thống huấn luyện ATLĐ và CH-CN dựa trên công nghệ VR. Hệ thống cho phép nhiều học viên tham gia đồng thời trong cùng môi trường mô phỏng, thực hiện các thao tác tương tác theo thời gian thực. Giáo viên có thể tạo lớp học, theo dõi quá trình huấn luyện, chấm điểm và quản lý kết quả học tập. Môi trường thực tế ảo tái hiện không gian hầm lò, hệ thống thiết bị khai thác, trang thiết bị cứu hộ và các tình huống sự cố đặc trưng của mỏ than hầm lò. Các bài huấn luyện cho phép học viên thực hiện chuỗi nhiệm vụ chính về nhận diện nguy cơ, xử lý tình huống và phối hợp cứu hộ trong phạm vi các kịch bản đã xây dựng.

Hệ thống phần cứng bao gồm máy chủ giáo viên, các máy trạm học viên, kính thực tế ảo Meta Quest 3, găng tay xúc giác SenseGlove Nova 2, màn hình hiển thị và hệ thống mạng nội bộ LAN. Máy chủ thực hiện chức năng quản lý phiên huấn luyện, lưu trữ dữ liệu, điều phối hoạt động của toàn bộ hệ thống và đồng bộ trạng thái môi trường mô phỏng giữa các học viên. Máy chủ được trang bị bộ vi xử lý Intel Core i9-14900K, card đồ họa RTX 5070 Ti 16 GB, bộ nhớ RAM 32GB và ổ cứng SSD tốc độ cao nhằm bảo đảm khả năng xử lý đồng thời nhiều kết nối và lưu trữ dữ liệu huấn luyện trong thời gian thực. Các máy trạm học viên được trang bị bộ xử lý Intel Core i9-14900K, bộ nhớ RAM 32 GB và card đồ họa RTX 5070 12GB đáp ứng yêu cầu kết xuất môi trường 3D phức tạp với số lượng lớn đối tượng mô phỏng và hiệu ứng thời gian thực. Cấu hình này cho phép duy trì tốc độ khung hình ổn định khi vận hành các bài huấn luyện ATLĐ và CH-CN trong môi trường thực tế ảo nhập vai. Thiết bị hiển thị thực tế ảo sử dụng kính Meta Quest 3, được trang bị màn hình độ phân giải 2064 × 2208 pixel cho mỗi mắt, tần số quét tối đa 120 Hz và góc nhìn rộng, giúp tái hiện không gian hầm lò với độ chi tiết cao. Kính tích hợp hệ thống theo dõi chuyển động sáu bậc tự do, hỗ trợ người học di chuyển và tương tác tự nhiên trong môi trường mô phỏng.

Bên cạnh việc xây dựng hạ tầng phần cứng, nhóm nghiên cứu đã hoàn thiện nền tảng phần mềm huấn luyện thực tế ảo phục vụ cho công tác huấn luyện ATLĐ và tập huấn CH-CN. Hệ thống phần mềm được phát triển trên nền tảng Unity với kiến trúc mô-đun. Các mô-đun chức năng chính bao gồm quản lý người dùng, quản lý kịch bản huấn luyện, mô phỏng môi trường thực tế ảo, điều khiển tương tác, đánh giá kết quả học tập và lưu trữ dữ liệu đào tạo. Đối với nội dung huấn luyện ATLĐ, phần mềm hệ thống đã được xây dựng hoàn chỉnh bốn bài huấn luyện mô phỏng các tình huống nguy cơ điển hình trong khai thác than hầm lò gồm nguy cơ sập đổ đường lò, cháy thiết bị điện, bục nước và cháy nổ khí mê tan. Trong mỗi bài huấn luyện, học viên được tham gia trực tiếp vào quá trình nhận diện nguy cơ, đánh giá mức độ rủi ro, lựa chọn phương án xử lý và thực hiện các thao tác ứng phó theo quy trình an toàn hiện hành. Phần mềm hệ thống tự động ghi nhận toàn bộ quá trình thực hiện của học viên làm cơ sở cho công tác đánh giá kết quả đào tạo. Đối với nội dung CH-CN, nghiên cứu đã xây dựng thành công kịch bản huấn luyện đa người dùng mô phỏng sự cố nổ khí mê tan trong hầm lò. Hệ thống hỗ trợ nhiều học viên tham gia đồng thời với các vai trò khác nhau như chỉ huy cứu hộ, tiểu đội trưởng và đội viên cứu hộ. Các học viên có thể phối hợp thực hiện các nhiệm vụ tiếp nhận thông tin sự cố, tổ chức lực lượng, trinh sát hiện trường, tìm kiếm nạn nhân, sơ cấp cứu, vận chuyển nạn nhân và triển khai các biện pháp khắc phục sự cố trong cùng một môi trường mô phỏng được đồng bộ theo thời gian thực.

3.2. Kết quả thử nghiệm hệ thống

Sau khi hoàn thành quá trình thiết kế, tích hợp và phát triển phần mềm, hệ thống được triển khai thử nghiệm trong môi trường phòng thí nghiệm nhằm đánh giá khả năng vận hành của toàn bộ giải pháp trước khi triển khai tại Trung tâm Cấp cứu Mỏ.

Hoạt động thử nghiệm được thực hiện trên hệ thống phần cứng và phần mềm hoàn chỉnh, bao gồm máy chủ, các máy trạm học viên, kính thực tế ảo Meta Quest 3, găng tay xúc giác SenseGlove Nova 2 và hệ thống mạng LAN. Nội dung thử nghiệm được xây dựng trên cơ sở các kịch bản huấn luyện ATLĐ và CH-CN đã phát triển trong nghiên cứu.

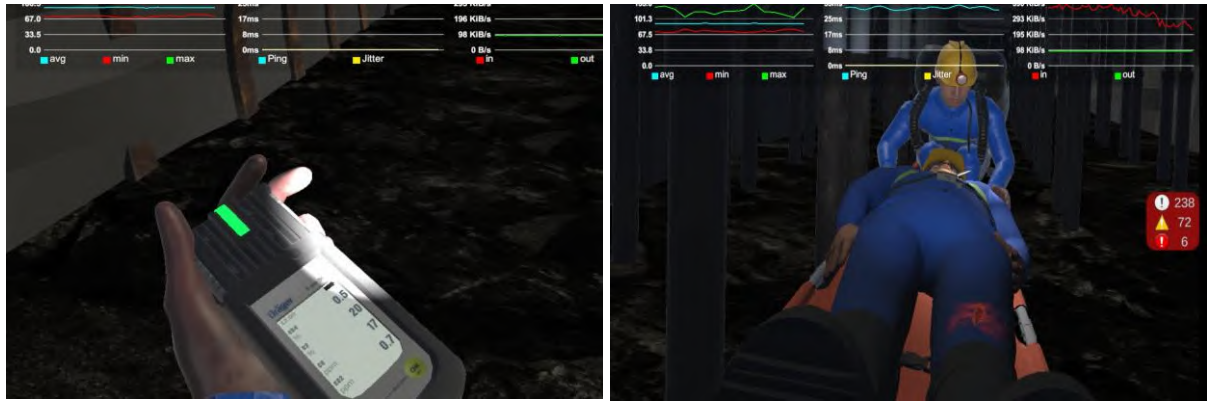
Quá trình thử nghiệm được thực hiện thông qua các bài huấn luyện đại diện cho hai nhóm kịch bản đã xây dựng. Đối với nhóm ATLĐ, hệ thống được kiểm tra thông qua các bài huấn luyện nhận diện và xử lý nguy cơ mất an toàn trong hầm lò. Đối với nhóm CH-CN, hệ thống được kiểm tra thông qua các bài huấn luyện mô phỏng sự cố nổ khí mê tan với sự tham gia đồng thời của nhiều học viên trong cùng một môi trường thực tế ảo. Trong các phiên thử nghiệm, máy chủ thực hiện quản lý lớp học, theo dõi hoạt động của học viên và ghi nhận kết quả huấn luyện, trong khi các máy trạm học viên thực hiện tương tác trực tiếp với môi trường mô phỏng và các thiết bị ảo. Hình 4, Hình 5 và Hình 6 trình bày hình ảnh minh họa thử nghiệm các kịch bản huấn luyện.



Hình 4. Thử nghiệm hệ thống trong phòng thí nghiệm



Hình 5. Thử nghiệm huấn luyện ATLĐ - nhận diện và xử lý nguy cơ mất an toàn



Hình 6. Thử nghiệm tập huấn cứu hộ cứu nạn

Kết quả thử nghiệm cho thấy hệ thống hoạt động ổn định, bước đầu khẳng định tính khả thi của giải pháp đề xuất, đồng thời cho thấy hệ thống đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật đặt ra đối với huấn luyện ATLĐ và CH-CN dựa trên công nghệ thực tế ảo. Đây là cơ sở để tiếp tục triển khai thử nghiệm và đánh giá trong điều kiện thực tế tại Trung tâm Cấp cứu Mỏ trong giai đoạn tiếp theo.

3.3. Thảo luận

Kết quả thử nghiệm bước đầu cho thấy công nghệ thực tế ảo có khả năng hỗ trợ huấn luyện ATLĐ và CH-CN trong khai thác than hầm lò. So với phương pháp huấn luyện truyền thống dựa trên bài giảng lý thuyết và thực hành tại hiện trường, hệ thống VR cho phép tái hiện các tình huống nguy hiểm với mức độ chân thực cao mà không gây ảnh hưởng đến hoạt động sản xuất hoặc tạo ra rủi ro đối với người học. Đây là ưu điểm đặc biệt quan trọng đối với các tình huống có xác suất xảy ra thấp nhưng hậu quả nghiêm trọng như cháy nổ khí mê tan, bục nước hoặc sập đổ đường lò. Việc cho phép học viên trực tiếp tham gia xử lý các tình huống mô phỏng tạo điều kiện cho học viên thực hành nhận diện nguy cơ, ra quyết định và phản ứng trong điều kiện khẩn cấp.

Một trong những điểm nổi bật của hệ thống là khả năng tổ chức huấn luyện đa người dùng trong cùng một môi trường mô phỏng thông qua nền tảng mạng LAN và công nghệ Mirror Networking. Khả năng này cho phép hỗ trợ thực hành phối hợp trong cấu hình lực lượng đã xây dựng giữa các thành viên trong lực lượng cứu hộ mỏ, bao gồm chỉ huy, tiểu đội trưởng và đội viên cứu hộ. Trong khi nhiều hệ thống huấn luyện VR hiện nay chủ yếu tập trung vào đào tạo cá nhân, nghiên cứu đã mở rộng phạm vi ứng dụng sang các bài huấn luyện có tính phối hợp

tập thể, phù hợp với đặc thù hoạt động CH-CN trong khai thác than hầm lò.

Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy việc số hóa môi trường mỏ và xây dựng thư viện đối tượng 3D chuyên ngành giúp nâng cao tính chân thực của nội dung huấn luyện. Các thiết bị, công trình và điều kiện môi trường được mô phỏng dựa trên dữ liệu khảo sát thực tế tại các đơn vị thuộc TKV, góp phần giúp người học dễ dàng liên hệ giữa môi trường huấn luyện và điều kiện làm việc thực tế. Đây là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến mức độ tiếp thu kiến thức và khả năng chuyển giao kỹ năng từ môi trường mô phỏng sang môi trường sản xuất.

Mặc dù đạt được những kết quả khả quan, nghiên cứu vẫn còn một số hạn chế. Số lượng kịch bản huấn luyện hiện mới tập trung vào một số tình huống điển hình có mức độ nguy hiểm cao trong khai thác than hầm lò. Hệ thống mới được thử nghiệm trong môi trường phòng thí nghiệm và chưa được đánh giá trên quy mô lớn với nhiều nhóm đối tượng học viên khác nhau. Trong thời gian tới, cần tiếp tục triển khai thử nghiệm hệ thống tại Trung tâm Cấp cứu Mỏ và các đơn vị khai thác than cũng như mở rộng hệ thống theo hướng bổ sung thêm các kịch bản huấn luyện: bục nước, cháy băng tải, tai nạn thiết bị vận tải và các tình huống cứu hộ phức tạp khác. Ngoài lĩnh vực khai thác than hầm lò, mô hình hệ thống được đề xuất còn có khả năng mở rộng sang các ngành công nghiệp có mức độ rủi ro cao như dầu khí, hóa chất… qua đó mở rộng phạm vi ứng dụng của công nghệ thực tế ảo trong công tác đào tạo an toàn và ứng phó sự cố.

4. KẾT LUẬN

- Nghiên cứu đã xây dựng hệ thống VR phục vụ huấn luyện ATLĐ và CH-CN cho mỏ than hầm lò trong phạm vi bốn bài ATLĐ và một bài CH-CN đa người dùng đối với sự cố nổ khí mê tan;
- Trên các nền tảng Unity, Mirror Networking và thiết bị thương mại, nhóm nghiên cứu đã xây dựng thư viện 3D chuyên ngành, logic nhiệm vụ - trạng thái, phân vai, đồng bộ nghiệp vụ, quản lý phiên, chấm điểm và lưu trữ kết quả;
- Hệ thống cho phép tổ chức huấn luyện cá nhân và theo nhóm, ghi nhận kết quả thực hiện theo tiêu chí kịch bản và mô phỏng các tình huống nguy hiểm khó tổ chức thường xuyên trong thực tế;
- Kết quả kiểm tra chức năng trong phòng thí nghiệm bước đầu xác nhận khả năng vận hành kỹ thuật của hệ thống trong cấu hình đã xây dựng và tạo cơ sở cho việc tiếp tục đánh giá tại cơ sở huấn luyện ngành than;
- Trong thời gian tới, cần tiếp tục mở rộng kịch bản, đánh giá hệ thống với người học và triển khai thử nghiệm trên quy mô lớn tại các đơn vị khai thác than hầm lò ❐

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] International Labour Organization (ILO), *Safety and Health in Mines Convention, 1995 (No. 176)*, Geneva.

[2] Scorgie D., Feng Z., Paes D., Parisi F., Yiu T.W., Lovreglio R., "Virtual reality for safety training: A systematic literature review and meta-analysis", *Safety Science, Vol. 171, Article 106372, 2024*. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106372.

[3] Grabowski A., Jankowski J., "Virtual Reality-based pilot training for underground coal miners", *Safety Science, Vol. 72, pp. 310–314*, 2015, https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.09.017.

[4] National Mine Safety Administration of China (NMSA), *Regulations on Mine Safety Supervision and Emergency Management*, 2024, Beijing.

[5] Wang H., Li Z., Zhang Y., "Application of Virtual Reality Technology in Coal Mine Safety Training", *Safety Science, Vol. 162*, 2023, Elsevier.

[6] Zhang Q., Liu X., "Research on Intelligent Mine Rescue System Based on VR Technology", *International Journal of Mining Science and Technology, Vol. 32, No. 4,* 2022.

[7] Bellanca J.L., Orr T.J., Helfrich W.J., Macdonald B., Navoyski J., Demich B., "Developing a Virtual Reality Environment for Mining Research", *Mining, Metallurgy & Exploration, Vol. 36, No. 4, pp. 597–606.* 2019, https://doi.org/10.1007/s42461-018-0046-2.

[8] Gürer S., Surer E., Erkayaoğlu M., 2023, "MINING-VIRTUAL: A comprehensive virtual reality-based serious game for occupational health and safety training in underground mines", *Safety Science, Vol. 166, Article 106226*. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106226.

LỜI CẢM ƠN

Nội dung bài báo được hỗ trợ kinh phí từ đề tài cấp Tập đoàn Công nghiệp Than – Khoáng sản Việt Nam (TKV), mã số KC.05.Đ31-25/21-25 do Viện Nghiên cứu Điện tử, Tin học, Tự động hóa chủ trì, đồng chủ trì với Trung tâm Cấp cứu mỏ – Vinacomin thực hiện.

RESEARCH ON THE DEVELOPMENT OF A VIRTUAL REALITY-BASED OCCUPATIONAL SAFETY AND MINE RESCUE TRAINING SYSTEM FOR UNDERGROUND COAL MINING

The Truyen Nguyen[1], Xuan Dong Nguyen[1], Hai Duong Tran[1], Danh Dung Nguyen[1], Phan Quyen Nguyen[1], Le Thuy Duong Nguyen[1,*], The Vinh Nguyen[1], Viet Hung Nhu[2]

[1]Vietnam Reseach Institute of Electronics, Informatics and Automation, 156A Quan Thanh, Ha Noi, Vietnam
[2]Ha Noi University of Mining and Geology, 18 Vien Str., Ha Noi, Vietnam

ARTICLE INFOR
TYPE: Research Article
Received: 19/6/2026
Revised: 25/7/2026
Accepted: 27/7/2026
[1,*] Corresponding author:
Email: duongthuynl@gmail.com

ABSTRACT

Underground coal mining is a high-risk industrial sector that requires occupational safety and mine rescue training to be conducted regularly and effectively. However, conventional training methods face considerable difficulties in reproducing hazardous scenarios such as methane explosions, roadway collapses, and water inrushes. This paper presents the research, design, and development of a virtual reality (VR)-based system for occupational safety training and mine rescue training in underground coal mining. The system was developed on the Unity platform and employs Mirror Networking to support multi-user training over a local area network (LAN). The training content was designed to reflect the operating conditions of underground coal mines in Vietnam and comprises four occupational safety scenarios involving roadway collapse, electrical equipment fire, water inrush, and methane explosion, together with one multi-user mine rescue scenario simulating a methane explosion. The system enables instructors to organise training sessions, monitor trainee activities, and evaluate performance. Experimental results indicate that the system operates reliably, meets the specified training requirements, and has potential for application in occupational safety and mine rescue training in the coal mining industry.

Keywords: *Virtual Reality (VR), occupational safety training, mine rescue, underground coal mining, emergency response, multi-user simulation.*

@ Vietnam Mining Science and Technology Association