

ÁP DỤNG BIM TRONG CÁC DỰ ÁN ĐẦU TƯ XÂY DỰNG CƠ SỞ HẠ TẦNG ĐƯỜNG SẮT

Application of BIM in Railway Infrastructure Construction Investment Projects

TRẦN THỊ THU HÀ¹

Tóm tắt: Bài báo trình bày sự cần thiết và những lợi ích nổi bật của việc ứng dụng mô hình thông tin công trình (BIM) trong các dự án đầu tư xây dựng cơ sở hạ tầng đường sắt. Đây là một xu hướng tất yếu trong bối cảnh hiện đại hóa hạ tầng giao thông, đặc biệt khi BIM đã chứng minh hiệu quả vượt trội trong việc nâng cao chất lượng thiết kế, thi công và quản lý vận hành công trình. Bài viết cũng phân tích kinh nghiệm triển khai BIM tại một số quốc gia phát triển, từ đó chỉ ra các khó khăn và thách thức thực tiễn trong quá trình áp dụng vào lĩnh vực đường sắt. Trên cơ sở đánh giá thực trạng triển khai BIM tại Việt Nam hiện nay, bài báo tiến hành phân tích SWOT để làm rõ điểm mạnh, điểm yếu, cơ hội và thách thức. Cuối cùng, bài báo đề xuất một số giải pháp và kiến nghị cụ thể nhằm thúc đẩy việc áp dụng BIM hiệu quả, phù hợp với điều kiện kỹ thuật, pháp lý và nguồn lực của Việt Nam.

Từ khóa: Mô hình thông tin công trình (BIM); đường sắt; BIM trong đường sắt; hạ tầng đường sắt.

Abstract: The article presents the necessity and prominent benefits of applying Building Information Modeling (BIM) in railway infrastructure investment projects. This is an inevitable trend in the context of transportation infrastructure modernization, especially as BIM has demonstrated outstanding effectiveness in improving the quality of design, construction, and operational management. The paper also analyzes the experience of BIM implementation in several developed countries, thereby identifying practical difficulties and challenges in applying it to the railway sector. Based on the assessment of the current status of BIM adoption in Vietnam, the article conducts a SWOT analysis to clarify strengths, weaknesses, opportunities, and threats. Finally, the article propose several specific solutions and recommendations to promote the effective application of BIM, in line with Vietnam's technical conditions, legal framework, and available resources.

Keywords: Building Information Modeling (BIM); railway; BIM in railway projects; Railway Infrastructure.

(Ngày nhận bài: 20/02/2026, ngày sửa bài: 14/03/2026, ngày duyệt đăng: 25/03/2026)

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đường sắt là ngành cơ sở hạ tầng quan trọng cho sự phát triển kinh tế xã hội ở mỗi quốc gia và khu vực. Nó đóng góp rất lớn vào tăng trưởng kinh tế và vận chuyển hàng hóa, con người. Quá trình đô thị hóa ngày càng tăng kèm theo nhu cầu về mạng lưới giao thông bền vững và hiệu quả hơn đã đặt ra yêu cầu cấp bách phải nghiên cứu áp dụng các công nghệ tiên tiến trong phát triển cơ sở hạ tầng đường sắt. Mô hình thông tin công trình (BIM), một trong những công nghệ kỹ thuật số tiên tiến, đã được chứng minh là phương pháp tiếp cận có tính chuyển đổi đang định hình lại cách thức thực

hiện, mang lại những lợi ích chưa từng có trong quy hoạch, thiết kế, xây dựng và quản lý, vận hành công trình.

Việc tích hợp BIM vào dự án đường sắt đang là xu hướng toàn cầu. Có rất nhiều lợi thế của việc tích hợp này: loại bỏ rủi ro và chệch trong dự án, tối ưu hóa thiết kế, hỗ trợ hợp tác giữa các chuyên ngành và giảm chi phí.

Trong phạm vi bài viết này, chúng tôi sẽ làm rõ sự cần thiết phải nghiên cứu áp dụng BIM trong các dự án đường sắt trên cơ sở xu hướng toàn cầu trong lĩnh vực này tại Việt Nam; tiếp theo sẽ làm rõ cách thức BIM sẽ giúp cải thiện việc quản lý dự án, nâng cao hiệu quả đầu tư trong lĩnh vực

đường sắt; những khó khăn, hạn chế khi áp dụng và cuối cùng đưa ra một số đề xuất, kiến nghị cho việc áp dụng BIM trong các dự án đường sắt trong tương lai.

2. KHẢ NĂNG SỬ DỤNG BIM TRONG XÂY DỰNG CƠ SỞ HẠ TẦNG ĐƯỜNG SẮT

2.1. Sự cần thiết nghiên cứu áp dụng BIM trong các dự án đường sắt

Cơ sở hạ tầng đường sắt bao gồm một loạt các thành phần vật lý tạo thành nền tảng chung của hệ thống đường sắt, tạo điều kiện cho hoạt động an toàn và hiệu quả của các đoàn tàu. Chúng bao gồm: đường

¹ Trường Đại học Giao thông vận tải

ray, cầu, đường hầm, nhà ga, tín hiệu, biển báo, điện khí hóa, bãi tập kết đường sắt, đường ngang, hàng rào, biện pháp an ninh, hệ thống thông tin liên lạc và tín hiệu, và các cơ sở bảo dưỡng,... Độ phức tạp và quy mô của cơ sở hạ tầng đường sắt có thể thay đổi đáng kể tùy thuộc vào các yếu tố như loại đường sắt (ví dụ: đường sắt đi lại, đường sắt chở hàng, đường sắt cao tốc,...) và các yêu cầu về khu vực và cách thức hoạt động. Việc bảo trì, nâng cấp liên tục cơ sở hạ tầng đường sắt là điều bắt buộc để đảm bảo an toàn, hiệu quả và độ tin cậy của hệ thống vận tải đường sắt.

Tổng chiều dài đường sắt nước ta hiện có khoảng 3.143km (trong đó 2.703km đường chính tuyến), gồm 03 loại khổ đường: khổ đường 1.000mm (chiếm 85%), khổ đường 1.435 mm (chiếm 6%), khổ đường lồng 1.000 mm và 1.435mm (chiếm 9%). Mật độ đường sắt đạt khoảng 7,9km/1000km²[2]

Thời gian qua, một số dự án đầu tư cải tạo nâng cấp kết cấu hạ tầng đường sắt được hoàn thành đưa vào sử dụng. Tuy nhiên, do xây dựng từ lâu, tiêu chuẩn kỹ thuật thấp, thường xuyên bị ảnh hưởng bởi thiên tai, bão lũ nên kết cấu hạ tầng đường sắt chắp vá, chưa đồng bộ, năng lực thông qua thấp, tiềm ẩn nguy cơ gây mất an toàn giao thông, chưa kết nối đồng bộ với các phương thức vận tải khác; một số khu vực kinh tế quan trọng như Đồng bằng sông Cửu Long và Tây Nguyên chưa có đường sắt; kết nối vào khu vực cảng biển còn hạn chế, chưa có đường sắt kết nối cảng hàng không quốc tế.

Quy hoạch mạng lưới đường sắt thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050 đã được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt tại Quyết định số 1769/QĐ-TTg ngày 19/10/2021. Theo đó định hướng phát triển mạng lưới đường sắt quốc gia như sau: Đến năm 2030, ngoài nâng cấp, cải tạo bảo đảm an toàn chạy tàu với tổng chiều dài khoảng 2.440km, quy hoạch 9 tuyến đường sắt mới, tổng chiều dài 2.362 km; tầm nhìn đến năm 2050, mạng lưới đường sắt quốc gia được quy hoạch bao gồm 25 tuyến với chiều dài 6.354 km [2]. Ngoài ra, hiện nay tại Thành phố Hà Nội và Thành phố Hồ Chí Minh

đã được quy hoạch mạng lưới đường sắt đô thị trong các quy hoạch phát triển GTVT của các thành phố này. Bên cạnh đó, trong quá trình lập quy hoạch tỉnh, một số địa phương đã định hướng quy hoạch các tuyến đường sắt đô thị: Hải Phòng, Quảng Ninh, Vĩnh Phúc, Bắc Ninh, Bình Dương, Bà Rịa - Vũng Tàu,...

Có thể nói nhu cầu đầu tư cơ sở hạ tầng đường sắt của nước ta hiện nay và thời gian sắp tới là rất lớn. Việc quản lý, phát triển cơ sở hạ tầng phức tạp như vậy đòi hỏi phải lập kế hoạch cẩn thận, thực hiện chính xác và bảo trì liên tục. Theo truyền thống, quá trình này bị phân mảnh, với các khía cạnh khác nhau được xử lý riêng biệt, thường dẫn đến tình trạng kém hiệu quả và có thể nảy sinh nhiều xung đột. BIM giải quyết các vấn đề này bằng cách cung cấp một nền tảng thống nhất cho mọi khía cạnh của quá trình phát triển cơ sở hạ tầng đường sắt.

Việc triển khai BIM trong các dự án đường sắt ở nước ta ngày càng trở nên quan trọng vì một số yếu tố:

- Sự phức tạp của hệ thống đường sắt: Cơ sở hạ tầng đường sắt hiện đại bao gồm các hệ thống phức tạp: đường ray, tín hiệu, điện khí hóa và nhà ga. BIM giúp quản lý sự phức tạp này bằng cách cung cấp cái nhìn toàn diện về tất cả các thành phần và sự tương tác của chúng.

- Nhu cầu về hiệu quả: Với dân số ngày càng tăng và đô thị hóa được đẩy mạnh, nhu cầu cấp thiết là phải phát triển cơ sở hạ tầng đường sắt một cách nhanh chóng và hiệu quả, BIM sẽ hợp lý hóa các quy trình, giảm thời gian và chi phí liên quan đến việc triển khai dự án.

- Yêu cầu về tính bền vững: Khi thế giới tập trung vào phát triển bền vững, BIM sẽ hỗ trợ tạo ra các hệ thống đường sắt thân thiện hơn với môi trường bằng cách tối ưu hóa thiết kế và sử dụng tài nguyên.

- Quản lý tài sản: Đường sắt cần được bảo trì và nâng cấp liên tục, BIM giúp quản lý tài sản tốt hơn trong suốt vòng đời của cơ sở hạ tầng.

- Yêu cầu hợp tác: Các dự án đường sắt hiện đại thường liên quan đến nhiều bên liên quan ở nhiều lĩnh vực khác nhau, BIM sẽ cung cấp nền tảng để tăng cường hợp tác và giao tiếp giữa các bên.

2.2. Các khả năng mang lại sự thay đổi khi áp dụng BIM

Khả năng áp dụng BIM sẽ mang lại sự chuyển đổi sự phát triển cơ sở hạ tầng đường sắt qua các khía cạnh chính như sau:

2.2.1. Thiết kế và lập kế hoạch:

BIM dành cho kỹ sư và nhà quy hoạch sử dụng để tạo mô hình 3D chi tiết của toàn bộ cơ sở hạ tầng đường sắt, bao gồm đường ray, nhà ga, cầu, đường hầm và các thành phần khác. Hình ảnh trực quan này của mô hình 3D giúp hiểu rõ hơn về phạm vi và thiết kế của dự án. Phần mềm BIM có thể xác định các xung đột hoặc mâu thuẫn trong thiết kế ngay từ giai đoạn lập kế hoạch. Điều này giúp ngăn ngừa các vấn đề có thể dẫn đến chậm trễ và sửa đổi tốn kém trong quá trình xây dựng.

2.2.2. Ước tính chi phí và lập ngân sách:

BIM có thể tự động tạo ra các bản kê khai khối lượng dựa trên mô hình, giúp các nhà quản lý dự án ước tính chi phí chính xác hơn. Phần mềm BIM có thể trực quan hóa dữ liệu chi phí, cho phép các bên liên quan của dự án hiểu được cách các lựa chọn thiết kế khác nhau tác động đến ngân sách.

2.2.3. Quản lý xây dựng:

BIM có thể mô phỏng các giai đoạn xây dựng, giúp các nhà quản lý dự án lập kế hoạch và sắp xếp các hoạt động xây dựng hiệu quả hơn. BIM có thể được sử dụng để phân bổ các nguồn lực như nhân công và thiết bị một cách hiệu quả. BIM có thể theo dõi tiến độ xây dựng thực tế so với lịch trình đã lên kế hoạch, cho phép xác định sớm các sự chậm trễ hoặc vấn đề.

2.2.4. Quản lý và bảo trì tài sản:

BIM có thể đóng vai trò là bản sao kỹ thuật số của cơ sở hạ tầng đường sắt. Nó chứa thông tin về tất cả các thành phần, vật liệu và thiết bị là nguồn tài nguyên có giá trị cho các nhóm bảo trì. BIM có thể được tích hợp với dữ liệu cảm biến và lịch trình bảo trì để dự đoán thời điểm các thành phần có thể cần bảo trì hoặc thay thế. BIM có thể được sử dụng để tối ưu hóa hoạt động đường sắt bằng cách cung cấp dữ liệu thời gian thực về tình trạng đường ray, tín hiệu và các hệ thống quan trọng khác.

2.2.5. Đánh giá an toàn và rủi ro:

BIM có thể mô phỏng nhiều tình huống khác nhau để đánh giá rủi ro an toàn và phát triển các chiến lược giảm thiểu. Nó có thể hỗ trợ lập kế hoạch khẩn cấp và các quy trình sơ tán bằng cách cung cấp mô hình chi tiết về cơ sở hạ tầng đường sắt.

2.2.6. Giao tiếp với các bên liên quan:

Mô hình BIM được sử dụng để truyền tải thông tin về tiến độ và thiết kế của dự án đến các bên trực tiếp liên quan, bao gồm cả cơ quan quản lý và người dân một cách hiệu quả hơn. BIM tạo điều kiện cho sự hợp tác giữa nhiều bên liên quan (cơ quan quản lý, đơn vị thiết kế, các kỹ sư, nhà thầu và nhà điều hành).

2.2.7. Tính bền vững và tác động môi trường:

BIM có thể được sử dụng để tối ưu hóa mức tiêu thụ năng lượng của đường sắt bằng cách mô phỏng các kịch bản hoạt động khác nhau. Nó giúp đánh giá tác động môi trường của dự án đường sắt, bao gồm các yếu tố như ô nhiễm tiếng ồn và phát thải carbon.

2.2.8. Làm cơ sở cho việc ứng dụng các giải pháp công nghệ số tiên tiến:

Việc tích hợp BIM với công nghệ Internet vạn vật (IoT) đang mở đường cho đường sắt thông minh hơn và hiệu quả hơn:

- Cảm biến IoT có thể đưa dữ liệu thời gian thực vào mô hình BIM, cung cấp thông tin mới nhất về tình trạng và hiệu suất của tài sản.

- Bằng cách phân tích dữ liệu từ các thiết bị IoT trong bối cảnh của mô hình BIM, các nhà điều hành đường sắt có thể dự đoán nhu cầu bảo trì chính xác hơn, giúp giảm thời gian chết và chi phí.

- Mô hình BIM tích hợp với dữ liệu hành khách theo thời gian thực có thể giúp tối ưu hóa thiết kế nhà ga và lịch trình tàu.

- Các hệ thống thông minh tích hợp với BIM có thể tối ưu hóa việc sử dụng năng lượng trên toàn mạng lưới đường sắt, từ năng lượng kéo đến các cơ sở nhà ga.

2.3. Các thành phần chính của BIM khi áp dụng trong dự án

Để tận dụng đầy đủ lợi ích của BIM trong phát triển cơ sở hạ tầng đường sắt, điều cần thiết là phải hiểu

các thành phần chính của nó và cách chúng góp phần vào sự thành công của dự án.

2.3.1. Mô hình hóa và thiết kế 3D:

Cốt lõi của BIM là khả năng mô hình hóa 3D, vượt xa các bản vẽ CAD truyền thống:

- Mô hình hóa thành phần chi tiết: Mọi thành phần của cơ sở hạ tầng đường sắt, từ đường ray và tín hiệu đến nhà ga và cầu, đều có thể được mô hình hóa chi tiết. Điều này bao gồm không chỉ hình học mà còn cả đặc tính vật liệu và đặc điểm hiệu suất.

- Thiết kế tham số: BIM cho phép mô hình hóa tham số, trong đó các thay đổi đối với một phần tử sẽ tự động cập nhật các thành phần liên quan. Ví dụ, điều chỉnh bán kính đường cong của đường ray sẽ tự động cập nhật độ nghiêng (độ cao siêu) và đường cong chuyển tiếp.

- Tích hợp địa hình: Mô hình BIM có thể kết hợp dữ liệu địa hình chi tiết, cho phép tích hợp tốt hơn đường sắt với cảnh quan xung quanh và tính toán công trình đất chính xác hơn.

- Mô hình hóa bề mặt: Quan trọng đối với thiết kế đường hầm và hiểu biết về tình trạng đất, BIM có thể tích hợp dữ liệu địa kỹ thuật để tạo ra các mô hình bề mặt toàn diện.

2.3.2. Lập lịch và quản lý thời gian 4D

Chiều thứ tư trong BIM đề cập đến sự tích hợp thông tin liên quan đến thời gian:

- Trình tự thi công: BIM 4D cho phép người quản lý dự án hình dung trình tự thi công, giúp tối ưu hóa tiến độ dự án và xác định những điểm nghẽn tiềm ẩn.

- Phân bổ nguồn lực: Bằng cách liên kết mô hình 3D với lịch trình dự án, các nhóm có thể lập kế hoạch phân bổ nguồn lực tốt hơn, đảm bảo vật liệu và thiết bị có sẵn khi và nơi cần thiết.

- Theo dõi tiến độ: Mô hình 4D có thể được cập nhật bằng dữ liệu tiến độ thực tế, cho phép so sánh thời gian thực giữa mốc thời gian đã lên kế hoạch và thực tế.

- Kịch bản giả định: Người quản lý dự án có thể chạy nhiều kịch bản lập lịch trình khác nhau để xác định phương pháp thi công hiệu quả nhất.

2.3.3. Dự toán chi phí và lập ngân sách 5D

Chiều thứ năm bổ sung thông tin chi phí vào mô hình BIM:

- Bảng khối lượng: BIM có thể tự động tạo bảng khối lượng chính xác từ mô hình 3D, giúp tăng tốc đáng kể quá trình ước tính.

- Tích hợp cơ sở dữ liệu chi phí: Bằng cách liên kết mô hình BIM với cơ sở dữ liệu chi phí, các nhóm có thể tạo ra ước tính chi phí chi tiết một cách nhanh chóng và chính xác.

- Phân tích tác động chi phí: Những thay đổi về thiết kế có thể được phản ánh ngay lập tức vào ước tính chi phí, cho phép đánh giá nhanh các phương án thiết kế.

- Dự báo dòng tiền: Việc tích hợp thông tin chi phí và lịch trình cho phép dự báo dòng tiền chi tiết trong suốt vòng đời của dự án.

2.3.4. Quản lý và bảo trì tài sản

Thường được gọi là chiều thứ sáu của BIM, thành phần này tập trung vào việc quản lý tài sản đường sắt lâu dài:

- Bản sao kỹ thuật số: BIM tạo ra "bản sao kỹ thuật số" của cơ sở hạ tầng đường sắt, có thể được sử dụng cho mục đích bảo trì và vận hành liên tục.

- Lên lịch bảo trì: Mô hình BIM có thể bao gồm thông tin về lịch trình và quy trình bảo trì cho từng thành phần, tạo điều kiện thuận lợi cho việc bảo trì chủ động.

- Giám sát hiệu suất: Bằng cách tích hợp dữ liệu thời gian thực từ các cảm biến và thiết bị IoT, mô hình BIM có thể được sử dụng để giám sát hiệu suất của tài sản đường sắt.

- Phân tích chi phí vòng đời: BIM cho phép phân tích chi phí vòng đời chính xác hơn, không chỉ xem xét chi phí xây dựng ban đầu mà còn cả chi phí bảo trì và vận hành dài hạn.

2.4. Phân tích SWOT trong áp dụng BIM cho đường sắt

Từ thực trạng hiện tại của ngành đường sắt và mức độ triển khai BIM tại Việt Nam, có thể xây dựng mô hình phân tích SWOT như được trình bày trong Bảng 1. Phân tích này cho phép nhận diện tổng thể các yếu tố bên trong (điểm mạnh, điểm yếu) và bên ngoài (cơ hội, thách thức) ảnh hưởng đến quá trình ứng dụng BIM trong các dự án đường sắt. Kết quả từ mô hình SWOT sẽ là cơ sở quan trọng để xây dựng chiến lược phù hợp nhằm phát

huy các lợi thế sẵn có, khắc phục các tồn tại, tận dụng các cơ hội phát triển và chủ động ứng phó với các rủi ro tiềm ẩn. Qua đó, việc ứng dụng BIM trong ngành đường sắt Việt Nam có thể đạt được hiệu quả bền vững và lâu dài.

Bảng 1. Mô hình SWOT trong áp dụng BIM cho các dự án đường sắt

Yếu tố	Nội dung
Điểm mạnh (Strengths)	Định hướng chuyển đổi số rõ ràng; nhu cầu đầu tư hạ tầng rất lớn; hỗ trợ từ Chính phủ trong các dự án trọng điểm.
Điểm yếu (Weaknesses)	Thiếu kỹ năng chuyên môn BIM; phần mềm hạn chế; thiếu tiêu chuẩn chuyên biệt cho ngành đường sắt.
Cơ hội (Opportunities)	Có thể học hỏi kinh nghiệm quốc tế; phát triển thị trường BIM nội địa; khuyến khích đổi mới sáng tạo công nghệ số.
Thách thức (Threats)	Tâm lý ngại thay đổi; chi phí đầu tư ban đầu cao; xung đột lợi ích giữa các bên trong chuỗi giá trị dự án.

3. LỢI ÍCH KHI ÁP DỤNG BIM ĐỐI VỚI DỰ ÁN ĐẦU TƯ CƠ SỞ HẠ TẦNG ĐƯỜNG SẮT

Mô hình thông tin công trình (BIM) cung cấp một phương pháp tiếp cận toàn diện để xây dựng các dự án cơ sở hạ tầng đường sắt, mang lại lợi thế trong toàn bộ vòng đời của dự án. BIM cho ngành đường sắt cho phép cải thiện hiệu quả bằng cách giảm chi phí, giảm thiểu rủi ro và hỗ trợ các sáng kiến bền vững, từ cải thiện thiết kế và phối hợp xây dựng đến bảo trì và vận hành liên tục. Sau đây là tổng hợp các thông tin từ các nghiên cứu điển hình triển khai BIM trong các dự án cơ sở hạ tầng đường sắt trên toàn thế giới:

3.1. Chất lượng thiết kế được nâng cao, trực quan hóa được cải thiện:

BIM tạo điều kiện cho việc thiết kế và lập kế hoạch nâng cao cơ sở hạ tầng đường sắt bằng cách tạo ra các mô hình 3D chi tiết giúp tập hợp mọi khía cạnh của dự án (đường ray, nhà ga, đường hầm, cầu và nút giao thông,...) vào một môi trường kỹ thuật số. Phương pháp tiếp cận tích hợp này cho phép hình dung tốt hơn, đảm bảo các vấn đề về thiết kế được xác định sớm và giải quyết kịp thời. Nó cũng giúp các bên liên quan cộng tác liền mạch, vì tất cả các thành viên trong nhóm (kỹ sư, kiến trúc sư, nhà quy hoạch, nhà quản lý) làm việc trên cùng một mô hình chung.

Bằng cách tích hợp tất cả các yếu tố thiết kế vào một mô hình duy nhất, BIM cải thiện độ chính xác và giảm nguy cơ lỗi có thể phát sinh khi các nhóm khác nhau làm việc từ các thiết kế riêng biệt. Điều này dẫn đến việc lập kế hoạch chính xác hơn, hiệu

quả hơn và quy trình thiết kế tổng thể mượt mà hơn.

3.2. Nâng cao sự phối hợp giữa các bên liên quan:

Các dự án đường sắt quy mô lớn liên quan đến nhiều nhóm chuyên gia làm việc trên các khía cạnh khác nhau của quá trình xây dựng, bao gồm kỹ thuật dân dụng, thiết kế đường ray, tín hiệu và hệ thống điện. BIM cải thiện đáng kể sự phối hợp và cộng tác giữa các nhóm đa dạng này. Vì tất cả thông tin dự án được tập trung trong một mô hình kỹ thuật số duy nhất, các kỹ sư, nhà thầu và nhà thiết kế có thể làm việc cùng nhau hiệu quả hơn.

Các tính năng cộng tác của BIM cho phép các bên liên quan truy cập và sửa đổi mô hình dự án theo thời gian thực, đảm bảo mọi người đều làm việc với thông tin mới nhất. Điều này làm giảm khả năng xảy ra lỗi, chậm trễ và giao tiếp sai, tất cả đều thường gặp trong các dự án lớn và phức tạp.

3.3. Thuận lợi trong ước tính và kiểm soát chi phí:

BIM cho phép tính toán số lượng chính xác và ước tính chi phí dựa trên các thành phần và vật liệu của mô hình. Người quản lý dự án có thể sử dụng BIM để theo dõi chi phí trong suốt vòng đời của dự án, giúp duy trì trong phạm vi ngân sách. Ngoài ra, nó hợp lý hóa việc phân bổ nguồn lực, dẫn đến tiết kiệm chi phí đáng kể trong suốt dự án.

3.4. Quản lý xây dựng hiệu quả:

Trong xây dựng đường sắt, nơi có nhiều quy trình và thành phần tham gia, việc quản lý thời gian, chi phí và nguồn lực hiệu quả là rất quan

trọng. BIM giúp tối ưu hóa quản lý xây dựng bằng cách cung cấp các mô hình chi tiết theo dõi tiến độ của các hoạt động xây dựng. Việc sử dụng BIM 4D (thêm dữ liệu liên quan đến thời gian vào mô hình 3D) cho phép các nhóm dự án mô phỏng mốc thời gian xây dựng, giúp dự đoán sự chậm trễ, tối ưu hóa lịch trình và quản lý nguồn lực hiệu quả hơn.

Với BIM, các nhà quản lý dự án có thể đưa ra quyết định dựa trên dữ liệu về phân bổ nguồn lực, thiết bị và nhân lực, đảm bảo việc xây dựng diễn ra đúng tiến độ và trong phạm vi ngân sách. Điều này dẫn đến việc triển khai dự án nhanh hơn, tiết kiệm chi phí hơn.

3.5. Quản lý tài sản được cải thiện:

Một trong những lợi ích chính của BIM trong ngành đường sắt là khả năng cung cấp các giải pháp quản lý vòng đời và bảo trì toàn diện. Mô hình kỹ thuật số được tạo ra trong giai đoạn thiết kế và xây dựng tiếp tục mang lại giá trị lâu dài sau khi dự án hoàn thành. BIM cho phép tích hợp lịch trình bảo trì, hệ thống quản lý tài sản và giám sát thời gian thực, đảm bảo cơ sở hạ tầng đường sắt luôn ở tình trạng tốt nhất trong suốt vòng đời hoạt động của nó.

Với BIM, các nhóm bảo trì có thể theo dõi tình trạng của các tài sản như đường ray, nhà ga và hệ thống điện. Điều này cho phép bảo trì dự đoán hiệu quả hơn, giúp ngăn ngừa thời gian chết và sửa chữa tốn kém đồng thời kéo dài tuổi thọ chung của cơ sở hạ tầng.

3.6. Đánh giá tính bền vững và tác động môi trường:

Khi tính bền vững trở thành ưu tiên ngày càng tăng trong phát triển cơ sở hạ tầng, BIM đóng vai trò thiết yếu trong việc giảm thiểu tác động môi trường của các dự án đường sắt. Thông qua mô phỏng môi trường trong mô hình BIM, các nhóm có thể đánh giá hiệu quả năng lượng, lượng khí thải carbon và tác động môi trường tổng thể của các lựa chọn thiết kế khác nhau. Điều này cho phép tối ưu hóa việc sử dụng năng lượng và kết hợp các hoạt động bền vững, chẳng hạn như sử dụng vật liệu tái tạo và hệ thống tiết kiệm năng lượng.

BIM cũng giúp giảm thiểu chất thải trong giai đoạn xây dựng bằng cách cho phép ước tính vật liệu chính xác hơn và giảm thiểu việc đặt hàng quá mức. Việc sử dụng các công cụ thiết kế bền vững của BIM dẫn đến các dự án đường sắt xanh hơn, có trách nhiệm hơn với môi trường.

3.7. Giao tiếp với các bên liên quan:

Các mô hình BIM có thể được chia sẻ với các bên liên quan, bao gồm các cơ quan chính phủ, cộng đồng và người dân, để cung cấp thông tin cập nhật dự án minh bạch và giải quyết các mối quan tâm khác. Giao tiếp hiệu quả, tăng cường sự ủng hộ của người dân và tuân thủ quy định.

3.8. Thuận lợi trong đánh giá an toàn và rủi ro:

An toàn luôn là ưu tiên hàng đầu tại

các công trường xây dựng đường sắt, nơi mà tính phức tạp của hoạt động và quy mô của cơ sở hạ tầng gây ra những rủi ro đáng kể. BIM đóng vai trò quan trọng trong việc cải thiện an toàn bằng cách cho phép mô phỏng chi tiết công trường trước khi bắt đầu xây dựng. Các mô hình kỹ thuật số này cho phép các nhóm xác định sớm các mối nguy hiểm và rủi ro an toàn tiềm ẩn, cho phép lập kế hoạch và giảm thiểu rủi ro tốt hơn.

BIM cũng giúp đánh giá tác động của các hoạt động xây dựng đến môi trường xung quanh, đảm bảo các vấn đề tiềm ẩn như mất ổn định mặt đất hoặc thối rữa về hậu cần được giải quyết trước khi chúng trở thành vấn đề tại hiện trường.

3.9. Hiệu quả hoạt động:

Người vận hành đường sắt có thể sử dụng BIM để giám sát và tối ưu hóa tình trạng đường ray, hệ thống tín hiệu và các thành phần quan trọng khác, đảm bảo hoạt động trơn tru và an toàn. Dữ liệu thời gian thực từ các mô hình BIM có thể cải thiện việc ra quyết định và lập lịch bảo trì.

3.10. Đánh giá lợi ích - chi phí khi áp dụng BIM

Việc áp dụng BIM có thể làm tăng chi phí ban đầu từ 5-10% do đầu tư phần mềm, đào tạo, và xây dựng mô

hình. Tuy nhiên, các nghiên cứu quốc tế và thực tế triển khai cho thấy BIM có thể giúp:

Tiết kiệm 15-25% chi phí xây dựng do giảm lỗi và sửa đổi;

Giảm 20-30% thời gian thi công do tối ưu hóa tiến độ;

Giảm thiểu 30-40% rủi ro phát sinh trong quá trình vận hành nhờ bảo trì dự đoán;

Nâng cao tuổi thọ công trình và hiệu suất khai thác nhờ dữ liệu vận hành chính xác.

Kết luận: tổng thể lợi ích trung và dài hạn vượt trội so với chi phí ban đầu.

3.11. So sánh giữa BIM và phương pháp truyền thống

Việc ứng dụng mô hình thông tin công trình (BIM) mang lại hiệu quả vượt trội so với phương pháp truyền thống trong toàn bộ vòng đời dự án. Ở giai đoạn thiết kế, BIM giúp mô phỏng chính xác, trực quan và tích hợp dữ liệu kỹ thuật đa chiều. Trong thi công, BIM nâng cao khả năng phối hợp giữa các bên, giảm thiểu xung đột và sai sót. Quản lý tiến độ được tối ưu thông qua mô hình 4D, hỗ trợ lập kế hoạch và giám sát hiệu quả. Ở giai đoạn vận hành, BIM đóng vai trò là cơ sở dữ liệu số phục vụ quản lý tài sản công trình. Nhờ đó, công tác bảo trì và khai thác đạt hiệu quả cao hơn. So sánh cụ thể được trình bày tại Bảng 2.

Bảng 2. Hiệu quả của việc áp dụng BIM so với phương pháp truyền thống

STT	Tiêu chí	Phương pháp truyền thống	BIM
1	Thiết kế	Bản vẽ 2D rời rạc	Mô hình 3D tổng thể, trực quan
2	Phối hợp	Thủ công, dễ xung đột	Đồng bộ theo thời gian thực
3	Ước tính chi phí	Tách biệt, thiếu nhất quán	Tự động từ mô hình, chính xác hơn
4	Quản lý tiến độ	Chủ yếu dựa trên Excel, không trực quan	Mô phỏng tiến độ 4D
5	Bảo trì vận hành	Không tích hợp	Có mô hình song sinh kỹ thuật số

4. ÁP DỤNG BIM TẠI MỘT SỐ DỰ ÁN ĐƯỜNG SẮT TRÊN THẾ GIỚI

BIM bắt đầu được triển khai trong các công trình cơ sở hạ tầng đường sắt chủ yếu ở các quốc gia phát triển cao như Anh năm 2007 [10], Thụy Điển năm 2013, Canada [5],.... Công nghệ BIM đang bùng nổ, ngày càng có nhiều quốc gia đưa ra các quy định để tích hợp BIM vào các dự án cơ sở hạ tầng mới. BIM đã được ứng dụng trong thực tế tại nhiều dự án đường sắt

trên thế giới:

- Các dự án đường sắt cao tốc: Các quốc gia như Anh, Trung Quốc và Nhật Bản, Úc, Thụy Điển, Ấn Độ [8] đã áp dụng BIM cho mạng lưới đường sắt cao tốc của họ [3,4,5,6,7,10,11,12]. Ví dụ, dự án High Speed 2 (HS2) [15] của Anh sử dụng BIM để đảm bảo phối hợp thiết kế hiệu quả, giảm tác động đến môi trường và cải thiện sự tham gia của các bên liên quan.
- Hệ thống giao thông đô thị: BIM

đã đóng vai trò quan trọng trong việc phát triển hệ thống tàu điện ngầm tại các thành phố như London [10], Dubai [13] và Hàn Quốc [14]. Bằng cách tích hợp bố trí nhà ga, thiết kế đường ray cùng với mô phỏng luồng hành khách, BIM nâng cao quy hoạch và thực hiện giao thông đô thị.

- Bảo trì mạng lưới đường sắt hiện có: Đối với cơ sở hạ tầng đường sắt hiện có, BIM tạo điều kiện cho việc bảo trì dự đoán. Các nhà khai thác

đường sắt sử dụng mô hình BIM để theo dõi tình trạng tài sản, lên lịch sửa chữa và kéo dài tuổi thọ của các thành phần quan trọng [10].

Sau đây là một số thông tin có tính chất điển hình về việc triển khai BIM trong các dự án cơ sở hạ tầng đường sắt trên thế giới:

4.1. Dự án HS2 (Tốc độ cao 2) tại Vương quốc Anh [15]

HS2, tuyến đường sắt cao tốc mới nối liền London, Birmingham, Manchester và Leeds với hơn 300 dặm đường ray mới, nhiều đường hầm, cầu và nhà ga. HS2 là một trong những dự án cơ sở hạ tầng đầy tham vọng nhất ở châu Âu. BIM đã trở thành một phần không thể thiếu trong quá trình phát triển của dự án.

Triển khai BIM: HS2 sử dụng môi trường dữ liệu chung (CDE) dựa trên các nguyên tắc BIM, cho phép cộng tác liền mạch giữa hàng nghìn kỹ sư, nhà thiết kế và nhà thầu. BIM đóng vai trò quan trọng trong việc giảm thiểu tác động của HS2 đến môi trường, cho phép lập kế hoạch chính xác về tuyến đường và giúp giảm lượng khí thải carbon trong quá trình xây dựng. Các mô hình 3D chi tiết được tạo ra thông qua BIM có giá trị vô cùng to lớn trong việc truyền đạt tác động của dự án tới công chúng và các bên liên quan.

Kết quả: Việc sử dụng BIM trong HS2 được báo cáo là đã tiết kiệm chi phí đáng kể, cải thiện sự tham gia của các bên liên quan và cải thiện kết quả môi trường. Nhóm dự án ước tính rằng BIM đã góp phần giảm 20% chi phí.

4.2. Đường sắt cao tốc California, California, Hoa Kỳ [5]

California đang phát triển một mạng lưới đường sắt cao tốc được gọi là Dự án Đường sắt Cao tốc California (CAHSR), cung cấp một giải pháp thay thế thiết thực và bền vững cho đường hàng không và đường bộ. Dự án này sẽ kết nối các thành phố lớn của California, chẳng hạn như Los Angeles và San Francisco. Hệ thống tàu hỏa đồ sộ và phức tạp cho dự án này đặt ra một số thách thức về kỹ thuật, hậu cần và môi trường.

Triển khai BIM: Mô hình 3D của toàn bộ hệ thống đường sắt đã được thiết kế bằng phần mềm BIM, giúp các bên liên quan của dự án có thể hình

dung thiết kế và phát hiện xung đột hoặc va chạm trong giai đoạn thiết kế ban đầu. Các tác động môi trường của một số kịch bản xây dựng đã được mô phỏng bằng BIM để giảm thiểu thiệt hại sinh thái. Các mô hình BIM cũng đã cải thiện việc lập lịch trình dự án và giảm sự chậm trễ bằng cách mô phỏng các giai đoạn xây dựng, tối ưu hóa trình tự xây dựng và phân bổ nguồn lực hiệu quả. Ngoài xây dựng, BIM đã hỗ trợ quản lý tài sản, bảo trì chủ động và vận hành hiệu quả bằng cách tạo ra bản sao kỹ thuật số của hệ thống đường sắt.

4.3. Crossrail, London, Vương quốc Anh [10]

Crossrail, còn được gọi là Tuyến Elizabeth, là một dự án đường sắt lớn ở London, Vương quốc Anh, nhằm mục đích tạo ra một kết nối đường sắt đông-tây mới trên khắp thành phố. Đây là một tuyến đường dài 118 km (73 dặm) với nhiều nhà ga ngầm và đường hầm rộng lớn xuyên qua các khu vực đô thị đông dân cư.

Triển khai BIM: Mạng lưới đường sắt, bao gồm đường hầm, nhà ga và đường ray, được hình dung bằng mô hình BIM. Đánh giá thiết kế ban đầu và phát hiện xung đột trở nên dễ tiếp cận hơn nhờ mô hình này. Giám sát thiết bị đào hầm theo thời gian thực bằng BIM giúp đảm bảo thiết bị đi đúng hướng và giảm nguy cơ đất lún và gián đoạn đối với đô thị phía trên. Dự án sử dụng BIM để tích hợp chuỗi cung ứng rộng lớn, đảm bảo tất cả nhà thầu và nhà cung cấp đều làm việc dựa trên cùng một thông tin cập nhật. Các tính năng 4D của BIM được sử dụng để lập kế hoạch và hình dung các trình tự thi công phức tạp, đặc biệt là ở những không gian ngầm hạn chế. Bản sao kỹ thuật số của mô hình BIM được tạo trong quá trình xây dựng vẫn đang được sử dụng để quản lý và bảo trì công trình.

Kết quả: Việc sử dụng BIM trong dự án Crossrail đã được ghi nhận là tiết kiệm được hàng triệu bảng Anh, giảm rủi ro dự án và cải thiện việc triển khai dự án nói chung. Hệ thống thông tin công trình sẽ mang lại những lợi ích đáng kể trong suốt 120 năm tuổi thọ thiết kế của tuyến đường sắt.

4.4. Tàu điện ngầm Riyadh, Ả Rập Saudi [16]

Riyadh Metro là một dự án đường sắt đô thị lớn tại Riyadh, thủ đô của Ả Rập Xê Út. Dự án bao gồm sáu tuyến tàu điện ngầm, đường ray dài một trăm km và nhiều nhà ga ngầm, trên cao giúp thành phố cải thiện giao thông công cộng, giảm tắc nghẽn giao thông.

Triển khai BIM: Nhiều tuyến đường sắt và thiết kế nhà ga được phối hợp bằng các mô hình BIM, giúp cải thiện bố cục và đảm bảo rằng tất cả các hệ thống, bao gồm cơ khí, điện và cấp thoát nước (MEP) được lắp ráp hoàn hảo với nhau. Phát hiện và giải quyết xung đột sớm thông qua việc sử dụng BIM tiết kiệm được chi phí làm lại trong quá trình xây dựng. Các hệ thống quản lý tài sản và mô hình BIM được kết nối để phục vụ bảo trì và vận hành liên tục. BIM cũng giúp cải thiện hiệu quả và phối hợp của dự án, góp phần vào việc thực hiện thành công mạng lưới đường sắt đô thị phức tạp. Mô hình song sinh kỹ thuật số cải thiện quản lý tài sản dài hạn, đảm bảo độ tin cậy và an toàn của hệ thống tàu điện ngầm.

4.5. Chương trình Thameslink, London, Vương quốc Anh [17]

Chương trình Thameslink tại London là một dự án cơ sở hạ tầng đường sắt quan trọng liên quan đến việc nâng cao dịch vụ đường sắt trên toàn thành phố và xây dựng cơ sở hạ tầng mới nhằm cải thiện năng lực vận tải và kết nối.

Triển khai BIM: BIM đã được sử dụng rộng rãi trong Chương trình Thameslink để quản lý và phối hợp nhiều yếu tố của dự án. Nó đã giúp tạo ra mô hình 3D chi tiết về cơ sở hạ tầng đường sắt, giúp dễ hình dung và đánh giá các ý đồ thiết kế. Phát hiện và giải quyết xung đột đã được hợp lý hóa; giảm lỗi và làm lại trong quá trình xây dựng. BIM cũng hỗ trợ ước tính và kiểm soát chi phí, đảm bảo dự án vẫn nằm trong ngân sách. Việc triển khai BIM đã cải thiện hiệu quả xây dựng và phối hợp trên toàn bộ mạng lưới đường sắt phức tạp.

4.6. Đường hầm tàu điện ngầm Melbourne, Melbourne, Úc [5]

Đường hầm tàu điện ngầm Melbourne ở Úc được xây dựng để nâng cao hệ thống đường sắt của thành phố và là một thành phần quan trọng của cơ sở hạ tầng đường sắt của

thành phố. Các tuyến đường sắt ngầm và nhà ga được xây dựng để giảm lưu lượng giao thông và nâng cao giao thông công cộng.

Triển khai BIM: BIM là nền tảng của dự án Đường hầm tàu điện ngầm Melbourne. Nó cho phép tạo ra các mô hình 3D chi tiết về cơ sở hạ tầng đường sắt ngầm, tạo điều kiện hiểu rõ hơn về thiết kế và phát hiện sớm vấn đề. Các khả năng của BIM trong quản lý xây dựng và phân bổ nguồn lực đã được sử dụng để tối ưu hóa trình tự xây dựng và đảm bảo tiến độ kịp thời. Bằng cách cung cấp dữ liệu thời gian thực về các thành phần quan trọng, BIM tiếp tục hỗ trợ hiệu quả hoạt động và lập lịch bảo trì, góp phần vào thành công của dự án.

4.7. Dự án giai đoạn IV Tổng công ty Đường sắt đô thị Delhi, Delhi, Ấn Độ [8]

Dự án Giai đoạn IV của Tổng công ty Đường sắt đô thị Delhi (DMRC) bao gồm việc xây dựng các tuyến tàu điện ngầm mới, mở rộng các tuyến hiện tại và kết hợp các nhà ga mới. Hành lang dài 103,93 km này dự kiến sẽ hoàn thành vào năm 2024, cung cấp kết nối đậm cuối cho người dân địa phương.

Triển khai BIM: Dự án Delhi Metro Giai đoạn IV đã triển khai thành công Mô hình thông tin xây dựng (BIM), mang lại thiết kế mô hình được tối ưu hóa, tăng cường cộng tác và số hóa quy trình làm việc từ thiết kế đến thực hiện. Việc triển khai BIM đã cho phép các bên liên quan đa ngành của dự án cộng tác từ xa trong thời gian đại dịch. Điều này đã giúp giảm 33% thời gian thực hiện dự án và chi phí xây dựng, đồng thời tăng 43% năng suất lao động. Hơn nữa, BIM đã giảm đáng kể 50% lượng khí thải nhà kính trong môi trường xây dựng, bằng cách tính đến các danh mục như thiết kế, an toàn, tài chính và tiến độ. Nhìn chung, việc sử dụng BIM đã giảm thiểu rủi ro xây dựng trong giai đoạn thiết kế và góp phần mang lại kết quả dự án hiệu quả và bền vững hơn.

4.8. Đường hầm Brenner Base giữa Áo và Ý [5]

Đường hầm Brenner Base, đường hầm đường sắt dài 64km xuyên dãy Alps giữa Áo và Ý, là một ví dụ tuyệt vời về việc sử dụng BIM trong các dự án xuyên biên giới.

Triển khai BIM: BIM tạo điều kiện thuận lợi cho sự hợp tác giữa các

nhóm ở nhiều quốc gia khác nhau, làm việc theo các khuôn khổ quy định khác nhau. Dự án sử dụng BIM để tạo ra các mô hình địa chất chi tiết, rất quan trọng cho việc thiết kế và xây dựng đường hầm trong môi trường núi cao đầy thách thức. BIM 4D được sử dụng để lập kế hoạch hậu cần phức tạp cho việc di dời vật liệu đào và vận chuyển vật tư xây dựng qua hệ thống đường hầm. Sử dụng BIM để giúp tối ưu hóa thiết kế đường hầm nhằm tiết kiệm năng lượng, bao gồm cả việc quy hoạch hệ thống năng lượng địa nhiệt.

Kết quả: Việc sử dụng BIM trong dự án Đường hầm Brenner đã cải thiện sự phối hợp giữa các nhóm Áo và Ý, tăng cường kế hoạch an toàn và góp phần ước tính chi phí và thời gian chính xác hơn trong dự án phức tạp, dài hạn này.

Một số vấn đề rút ra từ việc áp dụng BIM tại một số dự án trên thế giới:

* **Về ưu điểm:** Việc áp dụng BIM giúp tăng cường phối hợp giữa các bên, tiết kiệm thời gian, tối ưu hóa chi phí, lường trước các khó khăn trước khi xây dựng, tối ưu hóa quản lý cơ sở hạ tầng, nâng cao chất lượng công trình (xem Bảng 3).

Bảng 3. Bảng tổng hợp hiệu quả áp dụng BIM tại một số dự án trên thế giới

Quốc gia	Dự án tiêu biểu	Lợi ích nổi bật
Anh	High Speed 2	Tiết kiệm 20% chi phí, tăng cường phối hợp
Ấn Độ	Delhi Metro Phase IV	Giảm 33% thời gian, giảm 50% phát thải
Mỹ	California HSR	Giảm xung đột thiết kế, tăng minh bạch
Saudi Arabia	Riyadh Metro	Tối ưu hóa bảo trì và vận hành
Úc	Melbourne Metro Tunnel	Hiệu quả xây dựng và phân bổ nguồn lực cao

* **Một số vấn đề có thể dẫn đến việc áp dụng BIM không hiệu quả:**

- Tình trạng pháp lý, trách nhiệm và quyền sở hữu mô hình BIM không rõ ràng; những thay đổi trong tạo lập và sử dụng thông tin không được quy định;
- Thiếu sự giao tiếp nội bộ; không làm rõ mục tiêu chung, quyền sở hữu cơ sở dữ liệu BIM, vai trò, trách nhiệm các chủ thể tham gia trong BIM; sử dụng các phiên bản hoặc phần mềm khác nhau; hiểu sai về tiến độ hoặc ước tính chi phí;
- Phối hợp kém giữa các các bên liên quan, đặc biệt là đơn vị thiết kế, nhà thầu xây dựng; thông tin, hướng dẫn, đào tạo và quy trình làm việc không phù

hợp với đối tượng, mục tiêu.

* **Một số vấn đề khó khăn khi áp dụng BIM trong các dự án đường sắt:**

- Hệ thống công cụ phần mềm còn hạn chế khi áp dụng cho đường sắt; thiếu các tiêu chuẩn địa phương, tiêu chuẩn đường sắt hoặc thư viện đối tượng, cần phải vẽ mọi thứ, bao gồm cả việc thu thập địa hình;
- Mức độ thành thạo trong việc áp dụng BIM có sự chênh lệch đáng kể giữa các đơn vị trong dự án, và trong từng nhóm dự án; các yêu cầu tối thiểu đối với dữ liệu BIM khó thống nhất;
- Việc xây dựng mô hình mất nhiều thời gian dẫn đến việc các thành viên trong nhóm và chủ đầu tư thắc mắc

về lịch trình triển khai và lo ngại rằng việc tích hợp BIM sẽ làm chậm tiến độ của dự án.

5. CÁC THÁCH THỨC TRONG VIỆC ÁP DỤNG BIM TRONG LĨNH VỰC ĐƯỜNG SẮT

Mặc dù BIM đem lại nhiều lợi ích rõ rệt, tuy nhiên quá trình triển khai công nghệ này trong lĩnh vực đường sắt vẫn gặp phải không ít thách thức cần được xem xét. Cụ thể như sau:

5.1. Thách thức về kỹ thuật và vận hành

- Các dự án đường sắt tạo ra lượng dữ liệu khổng lồ. Việc quản lý, lưu trữ và đảm bảo khả năng truy cập dữ liệu này có thể là một thách thức.

- Các nền tảng phần mềm và công cụ khác nhau được nhiều bên liên quan sử dụng có thể không phải lúc nào cũng tương thích.

- Việc xác định mức độ chi tiết phù hợp cho mô hình BIM có thể khó khăn; khó cân bằng giữa nhu cầu về thông tin toàn diện với độ phức tạp và hiệu suất của mô hình.

5.2. Đào tạo và phát triển kỹ năng

- Thường thiếu hụt những chuyên gia có kỹ năng BIM cần thiết trong lĩnh vực đường sắt.

- Công nghệ và quy trình BIM phát triển nhanh chóng, đòi hỏi phải đào tạo và phát triển liên tục.

5.3. Tích hợp với các hệ thống hiện có

- Nhiều tổ chức đường sắt có các hệ thống và quy trình hiện có có thể không dễ tích hợp với BIM.

- Việc chuyển dữ liệu từ các hệ thống cũ sang nền tảng BIM có thể phức tạp và tốn thời gian.

5.4. Tâm lý không muốn thay đổi

- Sự trì trệ của tổ chức: Có thể có tâm lý trì hoãn thay đổi các quy trình và luồng công việc đã được thiết lập.

5.5. Mối quan tâm về chi phí:

Khoản đầu tư ban đầu vào công nghệ BIM và đào tạo có thể rất đáng kể.

6. MỘT SỐ ĐỀ XUẤT, KIẾN NGHỊ

6.1. Một số vấn đề cần quan tâm để áp dụng BIM trong các dự án

a) Về kỹ thuật và triển khai

- Đảm bảo ban lãnh đạo, quản lý cấp cao hiểu và hỗ trợ việc áp dụng BIM.

- Xác định vai trò rõ ràng cho việc triển khai BIM, bao gồm người quản lý và các điều phối BIM.

- Nghiên cứu để triển khai các hệ thống quản lý dữ liệu đủ mạnh, ưu tiên các giải pháp dựa trên đám mây để xử lý khối lượng dữ liệu lớn.

- Xem xét áp dụng các tiêu chuẩn BIM mở như IFC để cải thiện khả năng tương tác.

- Xây dựng các kế hoạch thực hiện BIM rõ ràng, nêu rõ mức độ chi tiết cần thiết cho các giai đoạn và thành phần khác nhau của dự án.

- Phát triển Môi trường Dữ liệu Chung (CDE) cho thiết kế cộng tác là điều cần thiết, điều này nên được kích hoạt cho toàn bộ chuỗi cung ứng để

thúc đẩy đổi mới và tối đa hóa việc tái sử dụng dữ liệu;

- Các mô hình 3D thông minh (hướng đối tượng) là nền tảng thiết yếu để tận dụng phân tích thiết kế và 4D, 5D, việc áp dụng nhất quán các tiêu chuẩn là nền tảng cho sự thành công của BIM.

- Triển khai các quy trình kiểm soát chất lượng dữ liệu nghiêm ngặt để đảm bảo tính chính xác và độ tin cậy của mô hình BIM.

- Phát triển và thực thi các quy ước đặt tên, cấu trúc dữ liệu và quy trình làm việc chuẩn hóa.

- Làm việc chặt chẽ với các nhà cung cấp và nhà thầu để đảm bảo họ có thể đáp ứng các yêu cầu BIM của Dự án.

- Luôn cập nhật xu hướng và công nghệ BIM thông qua đào tạo liên tục và tham gia vào ngành.

b) Đào tạo và phát triển kỹ năng

- Đầu tư vào các chương trình đào tạo BIM cho nhân viên ở mọi cấp độ.

- Hợp tác với các tổ chức giáo dục để phát triển chương trình giảng dạy BIM dành riêng cho kỹ thuật đường sắt.

- Thường xuyên triển khai các chương trình cập nhật, nâng cao để các chuyên gia BIM có thể hướng dẫn các thành viên ít kinh nghiệm hơn trong nhóm.

c) Tích hợp với các hệ thống hiện có

- Phát triển các kế hoạch tích hợp theo từng giai đoạn cho phép áp dụng BIM từng bước với các hệ thống hiện có.

- Sử dụng các giải pháp phần mềm trung gian để tạo điều kiện trao đổi dữ liệu giữa các hệ thống cũ và nền tảng BIM.

- Ưu tiên các quy trình làm sạch và xác thực dữ liệu để đảm bảo tính chính xác của thông tin được di chuyển.

6.2. Đề xuất, kiến nghị về phía cơ quan quản lý

- Tiếp tục nghiên cứu bổ sung, hoàn thiện hành lang pháp lý cho việc áp dụng BIM phù hợp cho quá trình phát triển từng thời kỳ, trước mắt bổ sung quy định áp dụng BIM trong quá trình quản lý, vận hành công trình xây dựng;

- Bổ sung các quy định về mẫu hợp đồng có áp dụng BIM trong hoạt động xây dựng với các nội dung chủ yếu:

vấn đề phân bổ rủi ro, quyền sở hữu, bảo mật, trách nhiệm của các bên liên quan trong quá trình áp dụng BIM,...

- Nghiên cứu để xây dựng các tiêu chuẩn, hướng dẫn áp dụng BIM chi tiết cho loại công trình đường sắt;

- Xây dựng các nền tảng BIM dùng chung phục vụ việc quản lý hệ thống cơ sở hạ tầng quốc gia nói chung, trong đó có lĩnh vực đường sắt;

- Thúc đẩy xây dựng các thư viện đối tượng và các mô hình có sẵn cho tất cả người dùng;

- Tiếp tục nâng cao nhận thức về BIM, phổ biến các kinh nghiệm áp dụng BIM trong các dự án,...

6.3. Đề xuất mô hình thí điểm BIM tại Việt Nam

Để từng bước triển khai BIM trong thực tế, nên xây dựng mô hình thí điểm tại một dự án đường sắt quy mô vừa như tuyến Biên Hòa – Vũng Tàu,... Mục tiêu:

Áp dụng BIM từ khâu thiết kế đến giám sát thi công;

Sử dụng phần mềm BIM tích hợp 4D và 5D;

Đánh giá hiệu quả chi phí, tiến độ, chất lượng và phối hợp giữa các bên.

Kết quả từ dự án thí điểm sẽ là cơ sở để mở rộng áp dụng BIM trong các tuyến đường sắt quốc gia khác.

7. KẾT LUẬN

Ngành đường sắt sẽ được hưởng lợi rất nhiều từ việc tích hợp Mô hình thông tin công trình vào các dự án của mình. BIM mang lại những lợi thế đáng kể về mặt tối ưu hóa thiết kế, hiệu quả xây dựng, phối hợp, an toàn và bền vững. Khi ngành đường sắt tiếp tục hiện đại hóa và phát triển, BIM đang định vị mình là một công cụ quan trọng để tạo ra cơ sở hạ tầng đường sắt thông minh hơn, xanh hơn và hiệu quả hơn.

Để BIM phát huy hiệu quả tối đa trong các dự án đường sắt tại Việt Nam, cần có một chiến lược triển khai đồng bộ từ cấp chính sách đến thực hành kỹ thuật. Việc áp dụng thí điểm, chuẩn hóa quy trình, nâng cao năng lực nguồn nhân lực và hoàn thiện hành lang pháp lý sẽ là chìa khóa giúp Việt Nam nhanh chóng bắt kịp xu thế công nghệ toàn cầu trong phát triển hạ tầng giao thông hiện đại, bền vững và thông minh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ Xây dựng (2021). Báo cáo số 87/BC-BXD ngày 30/7/2021 về Tổng kết kết quả thực hiện Đề án áp dụng Mô hình thông tin công trình (BIM) trong hoạt động xây dựng và quản lý vận hành công trình [Report No. 87/BC-BXD dated July 30, 2021 on Summarizing the implementation results of the Project on applying Building Information Modeling (BIM) in construction and facility management]. (in Vietnamese).
- [2] Bộ Xây dựng (2024). Một số báo cáo về thực trạng hệ thống đường sắt Việt Nam [Some reports on the current status of the Vietnam railway system]. (in Vietnamese).
- [3] Goyal, J. (2023). BIM for designing and construction of railway infrastructure: A comprehensive guide. [Online]. Available: <https://linkedin.com>. [Accessed: Mar. 23, 2026].
- [4] Brain Kinetic (2024). The role of BIM in railway infrastructure development. [Online]. Available: <https://brainkinetic.com>. [Accessed: Mar. 23, 2026].
- [5] Doume, M., & Poirier, E. (2024). The Use of BIM in Railway Projects. *École de Technologie Supérieure*, Montréal, QC, Canada. doi: 10.1007/978-3-031-62170-3_18.
- [6] Bartonek, D., Bures, J., Vystavel, O., & Havlicek, R. (2023). Case Study of Remodelling the As-Built Documentation of a Railway Construction into the BIM and GIS Environment. *Applied Sciences*, 13(9), 5591. doi: 10.3390/app13095591.
- [7] Alqatawna, A., Sánchez-Cambronero, S., Gallego, I., & Rivas, A. (2023). BIM-centered high-speed railway line design for full infrastructure lifecycle. *Automation in Construction*, 156, 105114. doi: 10.1016/j.autcon.2023.105114.
- [8] Bensalah, M., Elouadi, A., & Mharzi, H. (2019). Railway Information Modeling – A Review of Railway Project Management Integrating BIM. *International Journal of Railway*, 12(1), 1-12.
- [9] Wang, X. (2022). Analysis of BIM and GIS Fusion Technology in Railway Information Construction. *Proceedings of the 2022 4th International Conference on Software Engineering and Development (ICSED '22)*, 16–20. doi: 10.1145/3582084.3582088.
- [10] ResearchGate (2017). Integrating BIM into railway projects: Review & perspectives. doi: 10.1340/RG.2.2.35578.95680.
- [11] Xu, J., & Scaioni, M. (2023). A brief feasibility analysis of HBIM/GIS integration in the infrastructure heritage conservation: the case of the Chinese Eastern Railway (CER) main line. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-5/W2-2023.
- [12] Japan International Cooperation Agency - JICA (2022). Data collection survey on BIM for ODA projects: Final report.
- [13] Mehran, D. (2016). Exploring the Adoption of BIM in the UAE Construction Industry for AEC Firms. *Procedia Engineering*, 145, 1110–1118. doi: 10.1016/j.proeng.2016.04.144.
- [14] Cho, H., et al. (2011). Introduction of Construction Management Integrated System Using BIM in the Honam High-Speed Railway Lot No. 4-2. *Proceedings of the 28th ISARC*, Seoul, 1300–1305. doi: 10.22260/ISARC2011/0239.
- [15] Aryankhesal, F. F. (2024). The role of BIM and GIS in HS2 historic environment data management, an overview of HS2 Phase One, UK. *Internet Archaeology*, 65. doi: 10.11141/ia.65.5.
- [16] Alyami, A., & Sanni-Anibire, B. (2019). BIM in the Saudi Arabian construction industry: state of the art, benefit and barriers. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*. doi: 10.1108/IJBPA-08-2018-0065.
- [17] Thomson, D. S., & Miner, R. (2020). Developing a digital asset management strategy for railway infrastructure: Lessons from Crossrail. *International Journal of Railway Technology*, 9(3), 45–64. doi: 10.4203/ijrt.9.3.2.

