

ĐỀ XUẤT KHUNG MÔ HÌNH THÔNG TIN TÀI SẢN (AIM) CHO QUẢN LÝ VẬN HÀNH ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ TẠI VIỆT NAM

A Framework for Asset Information Model (AIM) in Urban Railway Operations Management in Vietnam

TẠ NGỌC BÌNH¹, NGUYỄN HỮU PHÁT¹, NGUYỄN QUỐC BẢO¹

Tóm tắt: Công trình đường sắt đô thị là hệ thống hạ tầng phức tạp, tích hợp nhiều chuyên ngành và có vòng đời khai thác kéo dài hàng chục năm. Một trong những thách thức lớn nhất trong giai đoạn khai thác là sự đứt gãy thông tin kỹ thuật tại bàn giao giữa thi công và vận hành – biểu hiện đặc trưng là các mô hình BIM hoàn công có độ chính xác hình học cao nhưng thiếu hơn 80% thông tin phi hình học thiết yếu cho quản lý tài sản. Bài báo này đề xuất Khung Mô hình Thông tin Tài sản (Asset Information Model – AIM) cho quản lý vận hành đường sắt đô thị tại Việt Nam. Trên cơ sở tổng hợp kinh nghiệm từ ba dự án quốc tế tiêu biểu (Rail Baltica – Châu Âu, Metro Hạ Môn – Trung Quốc, Maha Metro – Ấn Độ) và phân tích khoảng trống năng lực tại Tuyến Metro số 1 (Bến Thành – Suối Tiên) theo bốn trụ cột (Chính sách, Con người, Quy trình, Công nghệ), nghiên cứu đề xuất khung AIM gồm ba thành phần cốt lõi: (1) cấu trúc dữ liệu ba lớp (hình học, phi hình học, tài liệu); (2) hệ thống định danh và mã hóa tài sản tuân thủ Uniclass 2015 và ISO 19650; và (3) lộ trình chuyển đổi số ba giai đoạn từ chuẩn hóa dữ liệu đến tích hợp hệ thống. Kết quả nghiên cứu cung cấp nền tảng kỹ thuật cụ thể, có thể áp dụng trực tiếp tại bối cảnh Việt Nam, đặt nền móng cho hướng nghiên cứu tiếp theo về kiểm chứng thực tiễn và mở rộng sang các tuyến Metro mới.

Từ khóa: Mô hình thông tin tài sản (AIM); BIM; đường sắt đô thị; quản lý vận hành; ISO 19650.

Abstract: Urban rail transit is a technically complex infrastructure type that integrates multiple engineering disciplines and has an operational lifespan of several decades. A critical challenge during the operational phase is information discontinuity at the construction-to-operations handover – characterised by as-built BIM models with high geometric accuracy but lacking over 80% of the non-geometric data essential for asset management. This paper proposes an Asset Information Model (AIM) Framework for urban railway operations management in Vietnam. Based on a synthesis of international best practices from three benchmark projects (Rail Baltica – Europe, Xiamen Metro – China, Maha Metro – India) and a capability gap analysis at Metro Line 1 (Ben Thanh – Suoi Tien) across four pillars (Policy, People, Process, Technology), the study proposes an AIM framework comprising three core components: (1) a three-layer data structure (geometric, non-geometric, documentation); (2) an asset identification and coding system compliant with Uniclass 2015 and ISO 19650; and (3) a three-phase digital transformation roadmap from data standardisation to system integration. The findings provide a concrete technical foundation directly applicable to the Vietnamese context, establishing groundwork for subsequent validation studies and extension to new Metro lines.

Keywords: Asset Information Model (AIM); BIM; urban railway; operations management; ISO 19650.

(Ngày nhận bài: 10/01/2026; ngày sửa bài: 12/03/2026; ngày duyệt đăng: 25/03/2026)

1. MỞ ĐẦU

Trong chiến lược phát triển kết cấu hạ tầng giao thông tại Việt Nam, công trình đường sắt đô thị (Metro) được xác định là trục giao thông chiến lược, đóng vai trò then chốt trong việc vận

chuyển khối lượng lớn, giảm thiểu ùn tắc và thúc đẩy phát triển kinh tế – xã hội bền vững. Tuy nhiên, đây cũng là loại hình hạ tầng kỹ thuật có mức độ phức tạp cao nhất, đòi hỏi sự phối hợp liên ngành chặt chẽ giữa các hệ thống

kết cấu tuyến, cầu – hầm, nhà ga, cơ điện (MEP), thông tin tin hiệu và hệ thống điều khiển chạy tàu [1]. Những đặc thù về quy mô lớn và tính chất kỹ thuật chuyên sâu đặt ra yêu cầu cấp thiết về một phương thức quản

¹ Viện Kinh tế xây dựng

lý thông tin thống nhất và xuyên suốt vòng đời công trình.

Xét về khía cạnh kinh tế, giai đoạn quản lý vận hành và bảo trì (O&M) là cấu phần trọng yếu nhất, chiếm tỷ trọng từ 60–80% tổng chi phí vòng đời tài sản [19]. Mục tiêu cốt lõi của giai đoạn này là đảm bảo các chỉ số hiệu suất hệ thống theo tiêu chuẩn quốc tế RAMS (Reliability – Tin cậy, Availability – Sẵn sàng, Maintainability – Khả năng bảo trì, Safety – An toàn). Tuy nhiên, thực tiễn tại các dự án đường sắt đô thị hiện nay cho thấy một nghịch lý: trong khi quy mô tài sản lên đến hàng trăm nghìn hạng mục, công tác quản lý thông tin vẫn đối mặt với sự ‘đứt gãy’ nghiêm trọng tại giai đoạn bàn giao giữa thi công và vận hành [7]. Hồ sơ hoàn công truyền thống dưới dạng bản vẽ 2D rời rạc và tài liệu văn bản thiếu tính liên kết đã tạo ra các ‘ốc đảo dữ liệu’, gây khó khăn cho việc truy xuất thông tin kỹ thuật và tiềm ẩn rủi ro trong công tác ứng phó sự cố khẩn cấp.

Tại Tuyến Metro số 1 (Bến Thành – Suối Tiên) tại TP.HCM – tuyến đường sắt đô thị đầu tiên đi vào vận hành tại Việt Nam – công tác số hóa hiện trạng đã đạt được những thành tựu đáng kể về mặt hình học thông qua các công nghệ tiên tiến như quét Laser 3D và UAV Photogrammetry, với mức độ chi tiết tương đương LOD 350–400. Song, khảo sát thực tế chỉ ra rằng hơn 80% đối tượng thiết bị trong mô hình vẫn còn thiếu hụt các trường thông tin phi hình học thiết yếu – bao gồm mã định danh tài sản, thông số kỹ thuật vận hành, nhà sản xuất, hạn bảo hành và tần suất bảo trì khuyến nghị. Hệ quả là mô hình BIM hoàn công đang tồn tại ở trạng thái ‘dữ liệu chết’: chính xác về hình học nhưng không thể tương tác với các hệ thống quản lý bảo trì bằng máy tính (CMMS/EAM), làm lãng phí đáng kể giá trị đầu tư số hóa.

Trong bối cảnh chuyển đổi số sâu rộng, bộ tiêu chuẩn ISO 19650 [14] đã thiết lập khung lý thuyết nền tảng cho quản lý thông tin theo vòng đời công trình. Tuy nhiên, để chuyển hóa khung tiêu chuẩn quốc tế này thành giải pháp khả thi tại đặc thù vận hành đường sắt đô thị Việt Nam, cần có một nghiên cứu cụ thể hóa cho bối cảnh địa phương. Bài báo này đặt ra câu hỏi

nghiên cứu: Khung Mô hình thông tin tài sản (AIM) nào phù hợp với đặc thù quản lý vận hành đường sắt đô thị tại Việt Nam, và cần áp dụng theo lộ trình như thế nào?

Để trả lời câu hỏi này, nghiên cứu tập trung vào ba mục tiêu: (1) Xác lập cơ sở lý thuyết về AIM và kinh nghiệm quốc tế làm nền tảng; (2) Đánh giá thực trạng và xác định khoảng trống năng lực tại Tuyến Metro số 1; và (3) Đề xuất cấu trúc AIM, hệ thống định danh tài sản và lộ trình chuyển đổi số phù hợp với điều kiện Việt Nam.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. BIM và sự chuyển dịch từ PIM sang AIM

Trong quản lý vòng đời công trình, BIM (Building Information Modelling) không thuần túy là công cụ mô hình hóa 3D mà được định nghĩa là một ‘hệ thống xã hội – kỹ thuật’ bao gồm các công nghệ quản lý thông tin và quy trình liên quan [2]. Theo khung ISO 19650 [14], cốt lõi của quản lý dữ liệu trong giai đoạn vận hành nằm ở sự chuyển tiếp từ Mô hình thông tin dự án (Project Information Model – PIM) sang Mô hình thông tin tài sản (Asset Information Model – AIM). Đây không đơn thuần là sao chép dữ liệu, mà là quy trình sàng lọc có chủ đích: loại bỏ thông tin thi công tạm thời và tích hợp thêm các lớp thông tin phi hình học thiết yếu cho vận hành như mã định danh tài sản, thông số kỹ thuật và lịch sử bảo trì [14].

2.2. Hệ thống phân loại tài sản và chuẩn hóa dữ liệu

Hệ thống phân loại tài sản đóng vai trò là ‘ngôn ngữ chung’ cho phép các phần mềm quản lý khác nhau có thể hiểu và xử lý dữ liệu tự động, phá vỡ rào cản giữa các chuyên ngành và tạo sự liên thông giữa các nền tảng phần mềm trong hệ sinh thái số. Nghiên cứu áp dụng Uniclass 2015 – một triển khai của ISO 12006-2 [15], được quản lý bởi NBS tại Vương quốc Anh – để gán nhãn kỹ thuật số cho từng đối tượng tài sản. Việc gán một ‘lớp’ (Class) cụ thể cho tài sản cho phép đơn vị vận hành thực hiện các phân tích thống kê và lọc dữ liệu một cách hiệu quả mà không phụ thuộc vào tên gọi chủ quan, là điều kiện tiên quyết để đạt

được tính tương tác giữa BIM và các nền tảng quản lý tài sản doanh nghiệp.

2.3. Cấu trúc phân rã và định danh tài sản

Trong quản lý hạ tầng đường sắt, một Sổ đăng ký tài sản (Asset Register) khoa học là nền tảng của mọi quyết định vận hành. BIM hỗ trợ tổ chức Sổ đăng ký tài sản thông qua việc thiết lập Cấu trúc phân rã tài sản (Asset Breakdown Structure – ABS) theo mô hình cây với mối quan hệ ‘Cha – Con’ chặt chẽ. Nghiên cứu đề xuất cấu trúc ABS gồm năm cấp bậc từ tổng thể đến chi tiết: Cấp tổ hợp (Complex) – toàn bộ tuyến đường sắt; Cấp thực thể (Entity) – nhà ga, cầu cạn, đoạn hầm; Cấp hệ thống (System) – hệ thống điện kéo, thông tin tín hiệu; Cấp thiết bị (Component) – máy bơm, quạt thông gió, tủ điện; và Cấp linh kiện thay thế (LRU) – động cơ điện, bảng mạch điều khiển. Mỗi tài sản phải gắn liền với một Mã định danh duy nhất (Asset ID) đóng vai trò ‘khóa chính’ kết nối đối tượng 3D trong BIM với các tập dữ liệu bên ngoài như CMMS, EAM và GIS [16, 17].

3. KINH NGHIỆM QUỐC TẾ ÁP DỤNG AIM TRONG QUẢN LÝ VẬN HÀNH ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ

Việc ứng dụng BIM trong quản lý vận hành đường sắt đô thị trên thế giới đã chuyển dịch mạnh mẽ từ việc sử dụng các mô hình 3D trực quan sang thiết lập và quản trị AIM như một hệ thống dữ liệu có cấu trúc, có khả năng tương tác cao và được cập nhật liên tục. Phân tích so sánh ba dự án điển hình (Bảng 1) cung cấp các bài học quan trọng cho việc xây dựng khung AIM tại Việt Nam.



Bảng 1. So sánh kinh nghiệm áp dụng AIM tại ba dự án đường sắt đô thị quốc tế tiêu biểu

Tiêu chí so sánh	Rail Baltica (Châu Âu)	Metro Hạ Môn (Trung Quốc)	Maha Metro (Ấn Độ)
Tiêu chuẩn thông tin	Tuân thủ ISO 19650 nghiêm ngặt; định dạng trao đổi IFC 4.3 (mở); lưu trữ trong CDE liên thông quốc gia	Tiêu chuẩn nội bộ; xác thực độ chính xác bằng công nghệ quét Laser 3D đạt 100% so với thực thể vật lý	Phân cấp 4–5 cấp kỹ thuật; tích hợp trực tiếp với hệ thống ERP (SAP); phân rã đến cấp LRU
Hệ thống định danh tài sản	Uniclass 2015; AIR (Asset Information Requirements) chặt chẽ; đơn vị vận hành kiểm soát mã hóa từ giai đoạn thi công	Mô hình 'Chủ đầu tư chủ đạo': đơn vị vận hành tham gia xác lập tiêu chuẩn mã hóa ngay từ giai đoạn thi công	Asset Tag 23 ký tự định danh duy nhất; phân rã từ cấp Tuyến đến LRU tạo tiền đề tích hợp ERP trực tiếp
Chuyển giao dữ liệu PIM-AIM	Tuân thủ ISO 19650 tránh đứt gãy; định dạng mở bảo toàn tính độc lập công nghệ hàng trăm năm	Quy trình xác thực dữ liệu AIM bằng Laser 3D trước khi bàn giao; đảm bảo mô hình số khớp vật lý	Phong phú tài liệu và quy trình chuyển giao chặt chẽ; tích hợp ERP ngay sau bàn giao
Bài học cho Việt Nam	Tuân thủ tiêu chuẩn từ đầu tránh đứt gãy; định dạng mở đảm bảo quỹ đạo dữ liệu lâu dài	Đơn vị vận hành cần tham gia sớm vào xác lập mã hóa tài sản ngay từ giai đoạn thi công	Phân rã đến LRU + tích hợp ERP = AIM thực sự phục vụ vận hành hàng ngày và bảo trì theo kế hoạch

Tổng kết từ các kinh nghiệm quốc tế cho thấy ba bài học cốt lõi mang tính phổ quát. Thứ nhất, sự tham gia sớm của đơn vị vận hành ngay từ giai đoạn thi công là điều kiện quyết định để AIM được cấu trúc hóa theo đúng yêu cầu O&M – như thực tiễn tại Metro Hạ Môn đã chứng minh. Thứ hai, hệ thống phân loại và mã hóa tài sản cần được thống nhất trước khi bắt đầu thu thập dữ liệu để tránh tình trạng đứt gãy thông tin tại bàn giao, như bài học từ Rail Baltica. Thứ ba, AIM không phải là sở hữu một tệp tin 3D đơn lẻ, mà là xây dựng một hệ thống dữ liệu đủ chi tiết và liên thông để tích hợp trực tiếp với ERP và CMMS, như mô hình Maha Metro đã hiện thực hóa [17, 18].

4. PHÂN TÍCH THỰC TRẠNG NĂNG LỰC ÁP DỤNG BIM TẠI TUYẾN METRO SỐ 1

Khảo sát dữ liệu hoàn công (As-

built) tại Tuyến Metro số 1 cho thấy bức tranh không đồng nhất về mức độ trưởng thành số giữa hai loại dữ liệu chính.

Về dữ liệu hình học: Mức độ chi tiết đạt tương đương LOD 350–400 đối với các hạng mục kiến trúc và kết cấu chính, nhờ ứng dụng công nghệ quét Laser 3D và UAV Photogrammetry. Sai số giữa mô hình số và thực địa được kiểm soát trong phạm vi cho phép ($\pm 10\text{mm}$ đối với kết cấu chính). Tuy nhiên, hạn chế cốt lõi nằm ở vấn đề 'dữ liệu chết': các đám mây điểm (Point Cloud) tuy chính xác về hình ảnh nhưng chưa được đối tượng hóa hoàn toàn – hệ thống chỉ nhận diện được tập hợp điểm tọa độ chứ không phân biệt được đây là 'cột', 'dầm' hay 'thiết bị cơ điện'. Ngoài ra, nhiều thay đổi phát sinh trên công trường chưa được cập nhật ngược lại vào mô hình, dẫn đến rủi ro sai lệch so với thực địa.

Về dữ liệu phi hình học: Đây là điểm yếu chí mạng khiến mô hình BIM hiện tại chưa thể phục vụ công tác quản lý vận hành. Qua rà soát ngẫu nhiên các đối tượng thiết bị trong mô hình, hơn 80% đối tượng thiếu các trường thông tin thiết yếu: ngày lắp đặt, thời hạn bảo hành, mã phụ tùng thay thế, tần suất bảo trì khuyến nghị và thông số vận hành định mức. Thông tin tài sản đang nằm rải rác trong các 'ốc đảo dữ liệu': hồ sơ hoàn công PDF, file Excel kiểm kê tài sản và bản vẽ CAD 2D – hoàn toàn tách biệt với đối tượng 3D, vi phạm nguyên tắc 'Nguồn sự thật duy nhất' (Single Source of Truth) của ISO 19650 [14].

Phân tích khoảng trống năng lực theo bốn trụ cột cho thấy Tuyến Metro số 1 hiện đang ở Cấp độ 2 (Định hình) và cần đạt Cấp độ 4 (Tích hợp) để phục vụ quản lý vận hành thông minh, với khoảng cách từ 2 đến 3 cấp độ ở các trụ cột khác nhau (Bảng 2).



Bảng 2. Tổng hợp phân tích khoảng trống năng lực áp dụng BIM tại Tuyến Metro số 1

Yếu tố	Hiện trạng	Mục tiêu	Khoảng trống	Giải pháp trọng tâm
CHÍNH SÁCH	Cấp 1 – Có chủ trương chung nhưng thiếu quy chế nội bộ Chưa có bộ tiêu chuẩn dữ liệu (AIR/EIR) áp dụng cho vận hành Dữ liệu chưa được coi là tài sản bắt buộc	Cấp 4 – Chính sách quản trị dữ liệu liên phòng ban được thực thi Tiêu chuẩn dữ liệu là bắt buộc trong mọi hợp đồng thầu phụ Dữ liệu được chia sẻ minh bạch giữa các bên	GAP: 3 cấp độ (Thiếu hành lang pháp lý nội bộ)	Xây dựng Bộ tiêu chuẩn dữ liệu tài sản (AIR) và Mã hóa (Asset Tagging) Ban hành Quy chế quản lý tài sản số (Digital Asset Policy)
CON NGƯỜI	Cấp 1.5 – Nhân sự trẻ, có tư duy số nhưng làm việc rời rạc (Silo) Kỹ năng sử dụng công cụ BIM/CDE còn yếu; phụ thuộc chuyên gia nước ngoài	Cấp 4 – Đội ngũ đa năng, làm việc cộng tác trên CDE Tự chủ công nghệ; văn hóa ra quyết định dựa trên dữ liệu	GAP: 2.5 cấp độ (Thiếu kỹ năng thực chiến)	Đào tạo kỹ năng vận hành CDE và khai thác mô hình AIM Thành lập Tổ dữ liệu (Data Team) chuyên trách
QUY TRÌNH	Cấp 1 – Quy trình thủ công, dựa trên giấy tờ Cập nhật dữ liệu hoàn công chậm, độ trễ lớn Quy trình bảo trì và quản lý kho chưa liên thông	Cấp 4 – Quy trình số hóa toàn diện; dữ liệu cập nhật tự động / bán tự động Liên thông: Sự cố → Bảo trì → Kho → Tài chính	GAP: 3 cấp độ (Đứt gãy quy trình và dòng chảy thông tin số)	Thiết lập quy trình CDE tuân thủ ISO 19650 Số hóa Work Order trên Mobile App Quy trình cập nhật hoàn công liên tục (As-built update)
CÔNG NGHỆ	Cấp 2 – Có mô hình 3D chính xác (Laser Scan) nhưng là 'dữ liệu chết' Các hệ thống BIM, GIS, EAM, SCADA hoạt động độc lập Thiếu định danh số (Digital ID)	Cấp 4 – Hệ sinh thái công nghệ kết nối (Connected Ecosystem) Tích hợp dữ liệu 2 chiều qua API (BIM ↔ EAM) Định danh tài sản đồng bộ (QR Code / RFID)	GAP: 2 cấp độ (Thiếu sự kết nối và tương tác giữa các nền tảng)	Triển khai hệ thống mã hóa tài sản (Uniclass 2015) Xây dựng kiến trúc tích hợp BIM – GIS – EAM Trang bị thiết bị di động cho nhân viên hiện trường

5. ĐỀ XUẤT KHUNG MÔ HÌNH THÔNG TIN TÀI SẢN (AIM)

5.1. Cấu trúc dữ liệu ba lớp

Mô hình thông tin tài sản (AIM) được đề xuất không phải là một tệp tin đơn lẻ mà là một hệ sinh thái dữ liệu có cấu trúc, được cấu thành từ ba lớp dữ liệu cốt lõi có mối quan hệ tương hỗ chặt chẽ [14, 17].

Lớp dữ liệu hình học được kế thừa từ mô hình hoàn công (As-built) nhưng trải qua quy trình 'làm nhẹ' có chủ đích. Nghiên cứu đề xuất loại bỏ các chi tiết phục vụ thi công (cốt thép, ván khuôn, biện pháp tạm) và các cấu kiện siêu nhỏ không có giá trị bảo trì (dưới 20mm) để giảm dung lượng file. Mô hình được phân rã theo không gian (Nhà ga, Đoạn tuyến, Depot) và bộ môn (Kết cấu, Kiến trúc, MEP, Tín hiệu) nhằm đảm bảo hiệu suất xử lý trên thiết bị di động tại hiện trường.

Lớp dữ liệu phi hình học là 'linh hồn' của AIM, chứa đựng Metadata gắn liền với từng đối tượng tài sản. Các trường thông tin bắt buộc bao gồm: Mã định danh tài sản (Asset ID), thông số kỹ thuật vận hành, nhà sản xuất, hạn bảo hành và tần suất bảo trì khuyến nghị. Dữ liệu này được nhúng trực tiếp vào các tham số (Parameters) của đối tượng BIM, đảm bảo nguyên tắc Nguồn sự thật duy nhất theo yêu cầu ISO 19650 [14, 16].

Lớp dữ liệu tài liệu sử dụng cơ chế liên kết Hyperlink (URL) trở về Môi trường dữ liệu chung (CDE), thay vì nhúng trực tiếp các tệp tin nặng vào mô hình. Nhân viên vận hành có thể thực hiện 'truy xuất một chạm' để mở các hồ sơ pháp lý, biên bản nghiệm thu (CO/CQ) và hướng dẫn sửa chữa ngay trên giao diện mô hình 3D, đảm bảo tính cập nhật thời gian thực khi tài liệu được chỉnh sửa trên CDE [5, 14].

5.2. Hệ thống định danh và mã hóa tài sản

Việc xác định tài sản một cách hiệu quả và nhất quán đòi hỏi ba thành phần định danh phân biệt theo chức năng. Asset ID là mã định danh duy nhất, không thay đổi trong suốt vòng đời tài sản, đóng vai trò 'khóa chính' liên kết đối tượng BIM với CMMS và GIS. Asset Reference là chuỗi mã có cấu trúc phân cấp theo quy tắc [GA]-[KHU VỰC]-[HỆ THỐNG]-[LOẠI TB]-[SỐ THỨ TỰ], giúp người dùng nhận diện nhanh vị trí và chức năng tài sản mà không cần tra cứu cơ sở dữ liệu. Asset Name là ngôn ngữ thông dụng theo quy tắc thống nhất để hỗ trợ tác nghiệp hiện trường.

Bảng 3 dưới đây minh họa hệ thống định danh tài sản được đề xuất áp dụng thống nhất cho toàn tuyến Metro số 1, tuân thủ logic cấu trúc phân cấp theo ABS và hệ thống mã hóa Uniclass 2015.

Bảng 3. Ví dụ minh họa định danh tài sản theo nhà ga (Asset ID System)

Mã định danh (Asset ID)	Mô tả
BT-TH-AFC-G-001	Ga Bến Thành (BT), Sảnh vé (TH), Hệ thống AFC, Cổng soát vé (G), Đơn vị 001
BT-TH-AFC-TVM-002	Ga Bến Thành (BT), Sảnh vé (TH), Hệ thống AFC, Máy bán vé (TVM), Đơn vị 002
OL-PLT1-PSD-D-003	Ga Opera House (OL), Ke ga 1 (PLT1), Hệ thống PSD, Cửa cách toa (D), Đơn vị 003
BX-PL-HV-TX-001	Ga Ba Son (BX), Phòng kỹ thuật (PL), Hệ thống cao áp (HV), Máy biến áp (TX), Đơn vị 001

5.3. Quy trình số hóa dữ liệu mô hình AIM

Quy trình chuyển đổi từ mô hình hoàn công sang AIM phục vụ vận hành gồm bốn bước tuần tự: (1) Tạo lập mô hình BIM từ hồ sơ hoàn công và dữ liệu khảo sát thực địa; (2) Xử lý và chuẩn hóa mô hình (làm nhẹ, chuẩn hóa định dạng, kiểm tra độ chính xác); (3) Mã hóa – gán mã tài sản theo hệ thống định danh đã thiết lập; và (4) Kiểm tra, nghiệm thu dữ liệu (QA/QC) đảm bảo tính chính xác trước khi phát hành AIM chính thức. Nếu không đạt yêu cầu, quy trình quay lại bước chỉnh sửa mô hình hoàn công. Chỉ khi AIM được phê duyệt, nó mới trở thành nguồn dữ liệu chính thức

phục vụ quản lý vận hành [14].

5.4. Kết nối giữa chẩn đoán và giải pháp

Đối chiếu với kết quả phân tích khoảng trống (Bảng 2), cấu trúc AIM đề xuất giải quyết trực tiếp từng khoảng trống đã xác định. Lớp phi hình học với bộ trường thông tin bắt buộc lấp đầy khoảng trống Công nghệ về định danh số và dữ liệu chết. Hệ thống mã hóa tài sản theo Uniclass 2015 giải quyết khoảng trống Chính sách về thiếu tiêu chuẩn dữ liệu nội bộ. Quy trình cập nhật hoàn công liên tục trong AIM khắc phục khoảng trống Quy trình về đứt gãy giữa hiện trường và hệ thống số. Cuối cùng, tính tương tác API hai chiều giữa BIM và CMMS/

EAM mà AIM cho phép trực tiếp đáp ứng mục tiêu tích hợp ở Cấp độ 4, đồng thời giảm thiểu các thao tác thủ công và nhập liệu trùng lặp gây tổn kém nhân lực cho đơn vị vận hành.

6. LỘ TRÌNH ÁP DỤNG VÀ KHUYẾN NGHỊ

Dựa trên kết quả phân tích khoảng trống, việc áp dụng AIM trong quản lý vận hành không chỉ là bài toán nâng cấp công nghệ mà là một cuộc chuyển đổi toàn diện trên bốn trụ cột: Chính sách – Con người – Quy trình – Công nghệ [18]. Thay vì áp dụng ồ ạt, nghiên cứu đề xuất lộ trình triển khai theo ba giai đoạn được ưu tiên theo mức độ cấp thiết và tính khả thi (Bảng 4).

Bảng 4. Lộ trình chuyển đổi số áp dụng AIM tại Tuyến Metro số 1

Giai đoạn	Mục tiêu	Hành động chính	Kết quả kỳ vọng
Ngắn hạn (2026–2027) "Làm đúng ngay từ đầu"	Chuẩn hóa dữ liệu và chuyển đổi vận hành cơ bản	Thiết lập Môi trường dữ liệu chung (CDE) tuân thủ ISO 19650 Ban hành Sổ tay định danh tài sản theo Uniclass 2015 Đồng bộ mã ảo và mã thực địa (QR Code/RFID) Số hóa quy trình Phiếu công tác (Work Order) trên ứng dụng di động	Dữ liệu bàn giao đồng nhất, có cấu trúc Nhân viên vận hành truy xuất thông tin tài sản trực tiếp từ mô hình 3D
Trung hạn (2027–2028) Tích hợp hệ thống	AIM kết nối hai chiều với CMMS/EAM	Triển khai API hai chiều BIM ↔ IBM Maximo Xây dựng kiến trúc tích hợp BIM – GIS – EAM Trang bị thiết bị di động và ứng dụng AR cho hiện trường	Bảo trì dự phòng tự động; giảm thời gian xử lý sự cố Chi phí O&M bắt đầu giảm nhờ thông tin tài sản chính xác
Dài hạn (2028+) Tối ưu hóa	Ra quyết định dựa trên dữ liệu thực chứng	Tích hợp IoT/SCADA dữ liệu thời gian thực vào AIM Ứng dụng AI/ML dự báo tuổi thọ thiết bị Kết nối mạng lưới Metro vào Đô thị thông minh TP.HCM	Bảo trì dự báo; tối ưu hóa chi phí vòng đời Metro số 1 trở thành hình mẫu cho các tuyến tiếp theo

Để đảm bảo tính khả thi, ba điều kiện tiên quyết cần được thiết lập trước khi bước vào Giai đoạn 1: (1) Cam kết lãnh đạo cấp cao của đơn vị

vận hành về ưu tiên chuyển đổi số; (2) Ban hành Quy chế quản lý tài sản số (Digital Asset Policy) nội bộ làm hành lang pháp lý ràng buộc các bên tham

gia; và (3) Thành lập Tổ dữ liệu (Data Team) chuyên trách với đủ năng lực kỹ thuật để vận hành CDE và khai thác mô hình AIM.

7. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày kết quả nghiên cứu đề xuất Khung Mô hình Thông tin Tài sản (AIM) cho quản lý vận hành đường sắt đô thị tại Việt Nam, với ba đóng góp chính.

Thứ nhất, về Mô hình thông tin: Nghiên cứu đề xuất cấu trúc AIM gồm ba lớp dữ liệu (hình học, phi hình học, tài liệu) được tối ưu hóa cho hạ tầng vận hành, chuyển trọng tâm từ ‘độ chính xác hình học’ sang ‘độ giàu có của thông tin’. Mô hình đảm bảo vai trò ‘Nguồn sự thật duy nhất’ cho công tác quản lý kỹ thuật, khắc phục trực tiếp việc bỏ trống trường phi hình học hiện tại.

Thứ hai, về Cấu trúc dữ liệu: Hệ

thống Định danh và Mã hóa tài sản (Asset Tagging) dựa trên chuẩn Uniclass 2015 và định dạng trao đổi mở (OpenBIM) đã được thiết lập. Đây là chìa khóa then chốt để phá bỏ các ‘ốc đảo thông tin’, cho phép sự kết nối liền mạch giữa thế giới ảo (Mô hình BIM) và các hệ thống quản lý nghiệp vụ (CMMS/EAM, GIS).

Thứ ba, về Lộ trình thực hiện: Thay vì áp dụng ồ ạt, nghiên cứu đề xuất Lộ trình chuyển đổi số gồm ba giai đoạn từ Chuẩn hóa dữ liệu (Ngắn hạn) đến Tích hợp hệ thống (Trung hạn) và Bảo trì dự báo (Dài hạn), đi kèm với các quy trình chặt chẽ về chuyển giao và cập nhật dữ liệu, giúp giải quyết bài toán ‘dữ liệu chết’ thường gặp trong

các dự án xây dựng [18].

Cần nhấn mạnh rằng các kết quả trên đây mang tính chất đề xuất khung (framework proposal): cấu trúc AIM và hệ thống định danh được xây dựng có cơ sở lý luận từ tiêu chuẩn quốc tế và kinh nghiệm thực tiễn, nhưng cần được kiểm chứng trong điều kiện vận hành thực tế. Nghiên cứu còn giới hạn ở phạm vi một tuyến và chưa có số liệu đánh giá tác động định lượng đến chi phí O&M. Hướng phát triển tiếp theo bao gồm: triển khai thí điểm tại một hệ thống kỹ thuật cụ thể của Metro số 1, xây dựng bộ chỉ số KPI đánh giá hiệu quả triển khai AIM, và mở rộng áp dụng cho các tuyến Metro đang được xây dựng tại TP.HCM và Hà Nội.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Quốc hội (2025). *Luật số 95/2025/QH15: Luật Đường sắt* [Law No. 95/2025/QH15: Railway Law]. (in Vietnamese).

[2] Sacks, R., Lee, G., Burdi, L., & Bolpagni, M. (2025). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers* (4th ed.). Wiley.

[3] Rail Baltica (2021). *Rail Baltica Building Information Management Manual*. [Online]. Available: <https://www.railbaltica.org>. [Accessed: Mar. 23, 2026].

[4] Liao, J., Kim, H. Y., & Shin, M. H. (2023). Quantitative and Qualitative Benefits of Using BIM in Design and Construction Stages for Railway Development Projects. *Buildings*, 15(2), 180.

[5] Crossrail Limited (n.d.). *Crossrail BIM principles (Document No. CR-XRL-Z3-RGN-CR001-50005)*. Crossrail Limited.

[6] Gao, F., et al. (2019). *Innovation and practice of BIM technology in Xiamen Metro*. Harbin Engineering University Press.

[7] Crossrail International Ltd. (2025). *Building Information Modelling (BIM) Guide for Vietnamese Rail Projects version 3.1*.

[8] Alsofiani, M. A. (2024). Digitalization in infrastructure construction projects: A PRISMA-based review. *arXiv*.

[9] EU BIM Task Group (2017). *Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector*.

[10] Rail Baltica (2022). *Railway infrastructure access policies report (Version 3.0)*.

[11] Bane NOR Utbygging (2024). *Krav til BIM og geomatikk Generelle krav*.

[12] Thủ tướng Chính phủ (2023). *Quyết định số 258/QĐ-TTg phê duyệt Lộ trình áp dụng BIM* [Decision No. 258/QĐ-TTg approving the Roadmap for applying BIM]. (in Vietnamese).

[13] Bộ Xây dựng (2021). *Quyết định số 347/QĐ-BXD công bố Hướng dẫn áp dụng BIM* [Decision No. 347/QĐ-BXD announcing the Guidelines for applying BIM]. (in Vietnamese).

[14] ISO (2018). *ISO 19650-1:2018 – Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM)*.

[15] ISO (2015). *ISO 12006-2:2015 – Building construction – Organization of information about construction works – Part 2: Framework for classification*.

[16] ISO (2014). *ISO 55000:2014 – Asset management – Overview, principles and terminology*.

[17] Singhal, V. (2020). *A Conceptual Framework for effective BIM-enabled Information Management in Railways* (Master’s thesis, Universidade do Minho).

[18] Abideen, D. K., et al. (2022). A systematic review of the extent to which BIM is integrated into operation and maintenance. *Sustainability*, 14(14), 8692.

[19] Suprun, E., et al. (2022). Digitisation of Existing Water Facilities: A Framework for Realising the Value of Scan-to-BIM. *Sustainability*, 14, 6142.

[20] Lei, B., et al. (2021). Review on BIM technology in railway vehicle operation and maintenance. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 21(6), 106-123.