

ỨNG DỤNG GIẢI PHÁP OPENSOURCE AI TRONG THEO DÕI TIẾN ĐỘ VÀ KIỂM SOÁT CHẤT LƯỢNG CÔNG TRƯỜNG: TÍCH HỢP ẢNH 360° GẮN VỊ TRÍ–THỜI GIAN VỚI BIM & AI CHO GIÁM SÁT CÔNG TRƯỜNG SỐ

Dương Quang Quý

Công ty Cổ phần Công nghệ và Tư vấn CIC
Email: duongquy808@gmail.com, 0985756596

DOI: <https://doi.org/10.59382/hnkh17-ibst.2025.ses2-27>

TÓM TẮT: Giám sát tiến độ và kiểm soát chất lượng là thách thức lớn trong xây dựng. Bài báo giới thiệu OpenSpace AI – nền tảng ConTech tích hợp ảnh 360° gắn tọa độ–thời gian với BIM và AI để số hóa giám sát công trường. Hệ thống tự động ghi hình toàn cảnh, dùng thị giác máy tính để gắn ảnh lên bản vẽ/mô hình và tạo bản ghi hiện trường theo thời gian. Dữ liệu được AI phân tích (kết hợp xác minh của chuyên gia) nhằm theo dõi tiến độ, so sánh kế hoạch–thực tế và phát hiện sớm sai lệch. Kết quả cho thấy giải pháp rút ngắn 15–30% thời gian kiểm tra công trường so với phương pháp cũ, phát hiện vấn đề sớm từ mức tại thời điểm khi dự án ở mức 10% khối lượng thay vì 50% như truyền thống [1], đồng thời giảm ~50% số chuyến kiểm tra trực tiếp của các bên liên quan [2], cung cấp bằng chứng hình ảnh khách quan để giảm tranh chấp.

TỪ KHÓA: OpenSpace AI; ảnh 360° toàn cảnh; BIM; trí tuệ nhân tạo; theo dõi tiến độ; kiểm soát chất lượng; công trường số; ConTech; xây dựng số.

ABSTRACT: This paper presents OpenSpace AI, a ConTech platform that fuses location- and time-tagged 360° imagery with BIM and AI to digitize jobsite supervision. The system automatically captures panoramic imagery, maps it to floor plans/models via computer vision, and builds a time-based visual as-built record. AI with human-in-the-loop verification tracks progress, compares planned versus actual status, and flags early deviations. Results indicate 15–30% shorter inspection times and earlier issue detection at ~10% completion instead of 50% with traditional methods [1], plus ~50% fewer in-person site visits for stakeholders [2], while providing objective visual evidence that reduces disputes.

KEYWORDS: Openspace AI; 360° panoramic imagery; BIM; artificial intelligence; progress tracking; quality control; digital jobsite; ConTech; construction digitization.

1. GIỚI THIỆU VÀ BỐI CẢNH OPENSOURCE

1.1. Bối cảnh và vấn đề

Quản lý tiến độ và chất lượng trên công trường đòi hỏi thông tin cập nhật liên tục, nhưng nhiều dự án vẫn dựa vào giám sát thủ công, ghi chép nhật ký và chụp ảnh rời rạc, dẫn đến hiệu quả hạn chế và phụ thuộc vào kinh nghiệm chủ quan [3]. Điều này khiến nhiều vấn đề không được phát hiện kịp thời, gây chậm tiến độ và làm lại (rework) – vốn chiếm trung bình 5–9% chi phí dự án, có thể tới 30% khối lượng công việc [4][5], chủ yếu do thiếu thông tin và giám sát kém [6].

Công nghệ số mở ra hướng giải quyết mới, đặc biệt là các giải pháp ảnh 360° kết hợp AI và BIM – xu hướng nổi bật trong ConTech. Theo Forbes, mô hình hiện trường 4D (ảnh 360° + AI) là một đổi mới hữu ích trong xây dựng [7]. Các nền tảng như HoloBuilder,

StructionSite, Cupix, Reconstruct và OpenSpace giúp thu thập dữ liệu toàn diện với ít ảnh hơn, nhanh và chính xác hơn phương pháp truyền thống [8][9]. Trong đó, OpenSpace được xem là giải pháp dẫn đầu về chụp ảnh 360° tự động kết hợp AI [10].

Nghiên cứu học thuật cho thấy ảnh 360° cho phép ghi toàn bộ bối cảnh công trường, giảm bỏ sót, lưu giữ trạng thái hạng mục bị che khuất, hỗ trợ so sánh qua các mốc thời gian và chia sẻ từ xa [11]–[15]. Minh bạch thông tin từ ảnh 360° giúp tăng phối hợp và giảm tranh chấp [16][17]. Khi kết hợp với AI, ảnh 360° trở thành nền tảng giám sát thông minh: Lee và cộng sự chứng minh tốc độ và độ chính xác theo dõi tiến độ tăng đáng kể [18]; Alizadehsalehi & Yitmen (2019) khẳng định tự động hóa bằng thị giác máy tính khắc phục hạn chế quan sát trực tiếp [19].

Trong bối cảnh đó, bài báo tập trung vào OpenSpace AI – nền tảng tích hợp ảnh 360°, BIM và AI cho giám sát tiến độ và chất lượng. Mục tiêu: (1) mô tả cấu trúc và nguyên lý hoạt động; (2) phân tích cách hỗ trợ theo dõi tiến độ và kiểm soát chất lượng; (3) đánh giá hiệu quả qua số liệu thực tế so với phương pháp truyền thống. Bài báo cũng thảo luận thuận lợi, hạn chế và triển vọng của việc ứng dụng ảnh 360° gắn vị trí–thời gian kết hợp BIM & AI trong quản lý thi công.

1.2. Giới thiệu về Openspace AI

OpenSpace là giải pháp do công ty OpenSpace (Hoa Kỳ) phát triển từ năm 2017[20], hướng đến ghi chép hiện trạng công trường một cách tự động và trực quan bằng công nghệ 360° + AI. Nền tảng OpenSpace được hàng ngàn nhà thầu và chủ đầu tư tin dùng, đã triển khai cho hơn 77.000 dự án trên toàn cầu[21][22]. Tính đến giữa năm 2025, hệ thống OpenSpace đã chụp và xử lý trên 52 tỷ ft² (~4,8 tỷ m²) diện tích sàn công trình xây dựng với khoảng 3 tỷ ảnh 360°[23], thể hiện quy mô dữ liệu đồ sộ và mức độ phổ biến của giải pháp. Sự khác biệt của OpenSpace nằm ở khả năng tự động hoá toàn bộ quy trình: từ thu thập ảnh, gắn tọa độ thời gian, đến đồng bộ hoá lên nền tảng đám mây và phân tích AI – tất cả diễn ra gần như thời gian thực (real-time) với độ trễ trung bình dưới 15 phút[24][25].

Kiến trúc hệ thống: OpenSpace gồm nhiều module chức năng tích hợp chặt chẽ, phục vụ xuyên suốt vòng đời dự án từ thi công đến bàn giao.

Bảng 1 liệt kê các thành phần chính của nền tảng OpenSpace AI và chức năng tương ứng.

Bảng 1. Các thành phần chính của nền tảng OpenSpace AI và chức năng

Thành phần	Chức năng chính
OpenSpace Capture	Ghi hình toàn cảnh 360° tại công trường một cách tự động và đồng bộ gần như thời gian thực lên nền tảng đám mây. Người dùng chỉ cần gắn camera 360° và đi bộ; hệ thống có thể ghi ~25.000 ft ² trong 10 phút [25] và ánh xạ vị trí ảnh lên bản vẽ [26].
OpenSpace BIM+	Tích hợp dữ liệu ảnh 360° với mô hình BIM 3D; cho phép xem song song ảnh thực tế và mô hình thiết kế (<i>BIM Compare</i>), hỗ trợ phát hiện nhanh sai khác/thiếu sót giữa thi công và thiết kế [27]. Cung cấp giao diện “digital twin” cho các bên theo dõi.

OpenSpace Progress Tracking	Theo dõi tiến độ thi công tự động bằng AI: nhận diện tình trạng hoàn thành của >700 hạng mục trực quan (tường, sàn, thiết bị, v.v.) tương ứng >200 công tác tiến độ [28]; tính % hoàn thành, so sánh với kế hoạch (tích hợp P6, MS Project...) và cảnh báo sớm nguy cơ chậm.
Field Notes	Ghi chú hiện trường và quản lý vấn đề trên nền ảnh 360°: tạo chú thích, đính kèm ảnh/vị trí cụ thể dưới dạng Field Note trực tiếp trong không gian 360° [29][30]; liên kết hai chiều với Procore, Autodesk BIM 360... để phục vụ QA/QC, RFI và kiểm tra hiện trường [31].
OpenSpace Air	Mở rộng thu thập dữ liệu bằng drone và cảm biến laser: tải/xử lý ảnh drone trên cùng nền tảng, tự động tạo orthomosaic, point cloud và 3D mesh của toàn khu công trường; bổ sung góc nhìn trên cao cho hạ tầng/ngoại thất mà camera gắn người khó bao quát [32].

Nhờ kiến trúc gồm nhiều module, OpenSpace tạo thành một hệ sinh thái “công trường số” toàn diện. Dữ liệu ảnh hiện trường được liên thông với mô hình BIM và kế hoạch tiến độ, đồng thời kết nối với các hệ thống quản lý dự án khác, tạo thành nguồn dữ liệu thống nhất tập trung và đáng tin cậy (single source of truth) về hiện trạng dự án[33]. Trong các phần sau, chúng tôi sẽ đi sâu vào hai chức năng cốt lõi nhất của OpenSpace AI: (i) thu thập dữ liệu ảnh 360° gắn tọa độ-thời gian, và (ii) phân tích theo dõi tiến độ và kiểm soát chất lượng bằng BIM & AI.

1.3. Khoảng trống nghiên cứu và mục tiêu báo cáo

Trong khi các nền tảng giám sát công trường bằng ảnh 360° và AI đã được nghiên cứu và triển khai rộng rãi ở nhiều quốc gia như Hoa Kỳ, Singapore hay Nhật Bản, tại Việt Nam vẫn chưa có công trình nào đánh giá định lượng về hiệu quả ứng dụng của các giải pháp này trong thực tế thi công. Phần lớn các nghiên cứu hiện nay mới dừng lại ở mức mô tả công nghệ hoặc trình diễn nguyên lý hoạt động, chưa xây dựng được khung phương pháp chuẩn hóa để đo lường tác động của việc số hóa công tác giám sát và kiểm soát chất lượng.

Mặt khác, các báo cáo kỹ thuật trong nước thường hạn chế dữ liệu thực nghiệm để so sánh hiệu quả giữa phương pháp truyền thống (thủ công) và mô hình giám sát số hóa bằng ảnh 360° tích hợp BIM & AI. Điều này dẫn đến khoảng trống trong việc chuẩn hóa chỉ số đánh giá (KPI) và định lượng lợi ích kinh tế – kỹ thuật khi áp dụng các nền tảng như OpenSpace AI vào quản lý công trường.

Từ những nhận định trên, bài báo đặt mục tiêu:

1. Xây dựng phương pháp nghiên cứu so sánh (A/B & trước–sau) nhằm đánh giá hiệu quả ứng dụng OpenSpace AI trong theo dõi tiến độ và kiểm soát chất lượng công trường.

2. Đề xuất bộ KPI chuẩn hóa phản ánh các khía cạnh then chốt của quá trình triển khai, bao gồm độ đầy đủ dữ liệu ảnh, thời gian xử lý báo cáo, chi phí vận hành và độ chính xác đánh giá tiến độ.

3. Thiết lập khung quy trình đánh giá thực nghiệm, có thể áp dụng cho các công trình thí điểm tại Việt Nam trong giai đoạn chuyển đổi số ngành xây dựng.

Khung phương pháp nghiên cứu và các chỉ tiêu định lượng được trình bày chi tiết tại Mục 2, trong đó xác định cách thu thập, phân tích và đối chiếu dữ liệu benchmark quốc tế làm cơ sở cho việc đánh giá và nội địa hóa mô hình OpenSpace AI trong điều kiện Việt Nam.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU VÀ THIẾT KẾ SO SÁNH

2.1 Cách tiếp cận nghiên cứu

Nghiên cứu được xây dựng trên hướng tiếp cận so sánh định lượng (comparative analysis) nhằm đánh giá hiệu quả ứng dụng nền tảng OpenSpace AI trong công tác giám sát tiến độ và kiểm soát chất lượng thi công. Phương pháp này cho phép đối chiếu trực tiếp giữa phương pháp giám sát truyền thống và phương pháp ứng dụng OpenSpace, thông qua việc đo lường các chỉ tiêu hiệu suất (KPI) đã được chuẩn hóa.

Khung nghiên cứu được triển khai theo hai hướng:

- So sánh A/B (song song): giữa hai khu vực hoặc hạng mục công trình có điều kiện tương tự, trong đó khu vực A áp dụng OpenSpace AI và khu vực B duy trì phương thức giám sát thủ công.

- So sánh trước – sau (pre–post): đánh giá sự thay đổi hiệu quả của cùng một khu vực trước và sau khi triển khai nền tảng.

Phương pháp này cho phép lượng hóa các tác động của OpenSpace tới các yếu tố then chốt như: độ đầy đủ hồ sơ ảnh, tốc độ theo dõi tiến độ, thời gian lập báo cáo, chi phí vận hành và hiệu quả xử lý lỗi thi công (issue tracking).

2.2. Khung quy trình đánh giá thực nghiệm

Quy trình nghiên cứu được thiết kế gồm bốn bước chính (Hình 2.1):



Hình 2.1. Khung quy trình đánh giá thực nghiệm ứng dụng OpenSpace AI trong giám sát công trường

1. Thu thập dữ liệu ảnh 360°: thực hiện walkthrough tại hiện trường bằng camera gắn người (helmet/vest-mount), tần suất 2–3 lần/tuần. Dữ liệu được tự động định vị (spatial tagging) trên bản vẽ và đồng bộ lên nền tảng OpenSpace Cloud.

2. Xử lý và gắn dữ liệu BIM: hệ thống tự động căn chỉnh (alignment) giữa ảnh thực tế và mô hình BIM để tạo môi trường so sánh thực–ảo.

3. Xác định KPI và tính toán chỉ số: các chỉ tiêu được trích xuất từ cơ sở dữ liệu OpenSpace Dashboard, bao gồm coverage ratio, tracking throughput, time-to-report và SLA của Field Notes.

4. Phân tích và đối chiếu kết quả: so sánh dữ liệu nhóm thử nghiệm (OpenSpace) và nhóm đối chứng (truyền thống), đồng thời đối chiếu với các giá trị benchmark công khai để xác định phạm vi hiệu quả thực tế.

2.3. Bộ chỉ tiêu đánh giá (KPI)

Bộ KPI được xây dựng dựa trên thông lệ quốc tế và có thể điều chỉnh để phù hợp với điều kiện thực tế của các dự án Việt Nam:

Chỉ tiêu	Ký hiệu / Công thức	Ý nghĩa	Ngưỡng tham chiếu (benchmark)
Độ phủ ảnh 360°	$Coverage = \frac{Area_captured}{Total_area} \times 100\%$	Mức độ bao phủ dữ liệu thực tế	$\geq 90\%$ / tuần
Hiệu suất thu thập dữ liệu	$Speed_ratio = \frac{Time_manual}{Time_OpenSpace}$	Tốc độ thu thập so với chụp thủ công	8–10× nhanh hơn

Thời gian lập báo cáo	$T_{report} = t_{upload} \rightarrow t_{report}$	Chu kỳ tạo báo cáo hoàn chỉnh	Giảm 70–80%
Thời gian đóng Field Notes	T_{close_avg}	Trung bình thời gian xử lý issue	≤ 3 ngày
Giờ hành chính tiết kiệm	$\Delta H = H_{manual} - H_{OpenSpace}$	Thời gian giảm so với quản lý thủ công	≥ 40 giờ/tháng
Tỷ lệ hoàn thành đúng tiến độ	$Progress_accuracy = (Verified / Planned) \times 100\%$	Mức độ trùng khớp tiến độ thực tế và kế hoạch	$\geq 90\%$

Các chỉ tiêu này được định nghĩa để bảo đảm khả năng so sánh định lượng, tái lập và mở rộng cho các công trình khác nhau.

2.4. Phương pháp xử lý và phân tích dữ liệu

Dữ liệu thu được từ OpenSpace Dashboard, BIM Compare và hệ thống Field Notes được tổng hợp định kỳ (hàng tuần). Các giá trị KPI được thống kê, chuẩn hóa và biểu diễn dưới dạng bảng và biểu đồ so sánh.

Phân tích được thực hiện theo hai cấp độ:

- Cấp độ vi mô (micro-level): theo dõi sự thay đổi của từng hạng mục, tầng hoặc khu vực.
- Cấp độ vĩ mô (macro-level): tổng hợp trung bình theo giai đoạn hoặc loại công việc.

Đối chiếu được thực hiện với dải giá trị tham chiếu từ các dự án quốc tế (Devcon, RG Construction, Suffolk, Kitchell, Lee Kennedy) nhằm ước lượng biên độ hiệu quả kỳ vọng khi áp dụng tại Việt Nam.

2.5. Hạn chế và giả định nghiên cứu

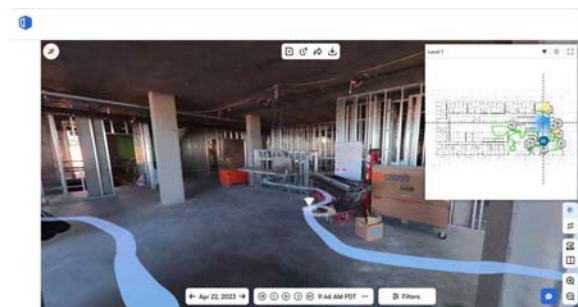
Do thực tế các dự án thí điểm trong nước không nhiều và thực tế và do tính bảo mật dữ liệu của các dự án, dữ liệu thực nghiệm sử dụng các giá trị benchmark công khai và mô phỏng các điều kiện thi công tương tự Việt Nam. Một số giả định bao gồm: chất lượng ảnh ổn định, tốc độ mạng đủ để tải dữ liệu và quy trình giám sát được tuân thủ đều đặn.

Các yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác gồm: sai lệch GPS, điều kiện ánh sáng, thay đổi địa hình và mức độ tương tác của người vận hành. Tuy nhiên, các yếu tố này được kiểm soát thông qua quy trình chụp định kỳ và cơ chế căn chỉnh tự động của OpenSpace AI.

Trên cơ sở khung phương pháp và bộ chỉ tiêu đã trình bày, các phần tiếp theo sẽ mô tả chi tiết quá trình thu thập dữ liệu, tích hợp BIM, theo dõi tiến độ và kiểm soát chất lượng, cũng như phân tích kết quả áp dụng thực nghiệm được trình bày tại Mục 7.

3. THU THẬP DỮ LIỆU ẢNH 360° GẮN TỌA ĐỘ–THỜI GIAN

Phương thức chụp ảnh 360° tự động – OpenSpace áp dụng nguyên tắc “walk-and-capture”: gắn camera 360° lên mũ bảo hộ hoặc cầm tay, bật chế độ quay và đi quanh công trường [34]. Camera liên tục ghi hình, bao phủ toàn bộ không gian; nhiều loại phổ biến (Insta360, Ricoh Theta, GoPro MAX...) đều tương thích [34]. Một phiên ghi hình (~10–15 phút) thu được hàng nghìn ảnh pano 360°, bao phủ ~2.300 m² trong 10 phút [25], độ phân giải đến 6K ghi rõ cả chi tiết nhỏ như ổ cắm, đầu phun sprinkler [35]. Trong quá trình quay, ứng dụng OpenSpace Mobile đồng bộ dữ liệu và ghi tọa độ không gian; thuật toán Spatial AI phân tích video/ảnh, định vị và ánh xạ tự động lên bản vẽ hoặc mô hình BIM [26] bằng kỹ thuật thị giác máy tính. Sau mỗi vòng quay, người dùng có thể xem ngay bản đồ ảo dạng Street View với ảnh 360° gắn đúng vị trí; thời gian xử lý trung bình <15 phút [24].

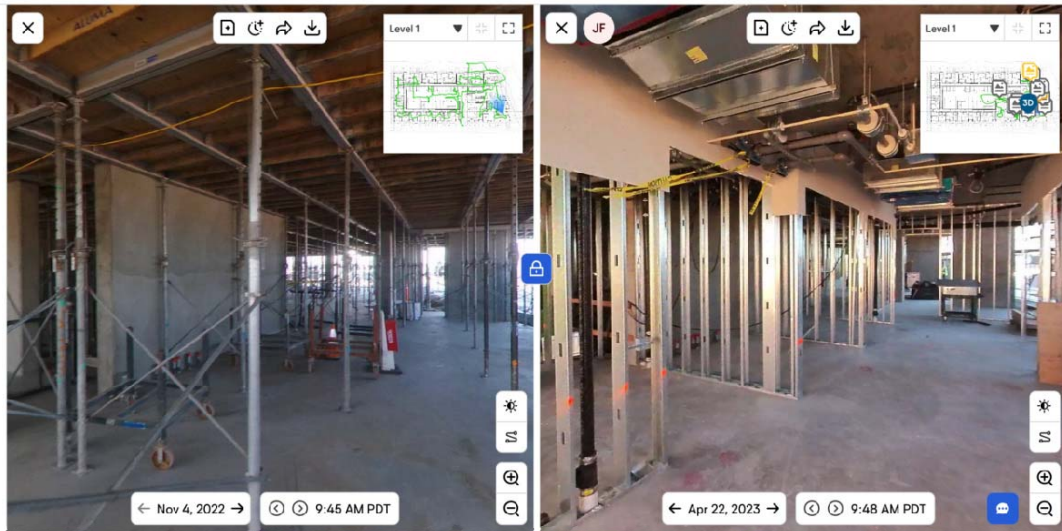


Hình 1. Giao diện bản đồ hiện trường ảo 360° trong OpenSpace: Đường màu xanh trên bản vẽ (góc trên phải) tương ứng với lộ trình di chuyển quay video của người dùng, nhấp vào sẽ hiển thị ảnh toàn cảnh 360° tại đó. Người dùng có thể di chuyển và quan sát xung quanh như chế độ Google Street View[36]. (Ảnh minh họa, nguồn: OpenSpace)

Ưu điểm nổi bật là tính tiện dụng và liên tục của dữ liệu. Nhờ tự động hóa, không cần chụp thủ

công từng hạng mục; tốc độ tải liệu hóa nhanh gấp ~15 lần phương pháp chụp điện thoại rồi gán nhãn thủ công [2]. Ngoài quay liên tục, có thể chụp ảnh 360° tĩnh hoặc ảnh thường ngay trong ứng dụng, tự động gán đúng vị trí trên bản đồ để so sánh trước-sau [37][29]. Chức năng Coverage Heatmap hiển thị khu vực đã quét/chưa quét [38], hỗ trợ lập kế hoạch bao phủ toàn bộ công trường. Hệ thống nhận diện tầng tự động hoặc qua mã QR “QuickCode” đặt tại cầu thang [39][40], đảm bảo dữ liệu được thu thập đầy đủ và định kỳ (ví dụ hàng tuần) thay vì rời rạc.

Hạ tầng và đồng bộ dữ liệu – Ứng dụng trên iOS/Android tải ảnh lên cloud qua Wi-Fi/4G ngay



Hình 2. Chế độ Split View trên OpenSpace: so sánh song song ảnh 360° của cùng vị trí ở hai thời điểm khác nhau (trái: 04/11/2022, phải: 22/04/2023), kèm bản đồ định vị tầng và thanh công cụ điều hướng, hỗ trợ đánh giá trực quan tiến độ và thay đổi hiện trạng theo thời gian

Tích hợp IoT và dữ liệu khác – Ngoài ảnh 360° gắn người, module OpenSpace Air nhập ảnh drone, hữu ích cho công trình hạ tầng hoặc cao tầng. OpenSpace 3D Scan tận dụng thiết bị LiDAR (như iPad Pro) quét nhanh không gian với độ chính xác ~5 cm, tạo đám mây điểm 3D phục vụ đo đạc [44]. Dữ liệu laser scan truyền thống cũng có thể tải lên BIM+ để lưu trữ/chia sẻ [45]. Nhờ đó, OpenSpace trở thành kho dữ liệu hợp nhất về hiện trường – từ ảnh 360°, ảnh drone đến point cloud – phục vụ phân tích đa dạng.

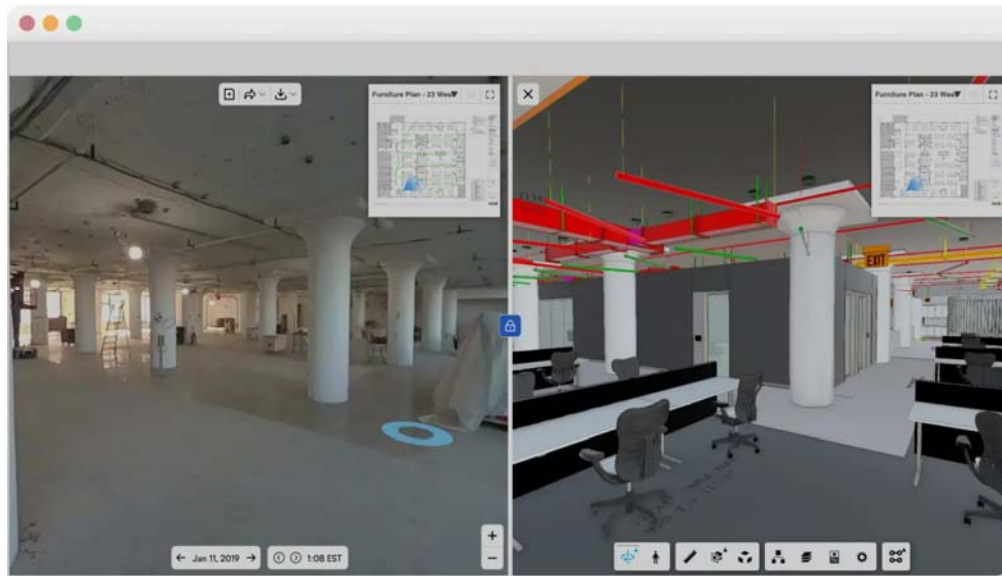
Tóm lại, OpenSpace AI mang đến giải pháp thu thập dữ liệu công trường toàn diện, nhanh và trực quan, số hóa hiện trường thành bản sao ảo sống động. Tất cả các bên liên quan có thể “thị sát” từ xa, theo dõi chi tiết diễn biến dự án, tạo nền tảng

sau khi chụp; nếu mất kết nối sẽ lưu cục bộ và tự tải lại khi có mạng [41]. Nhóm dự án tại văn phòng có thể gần như ngay lập tức xem hình ảnh mới nhất trên nền tảng web. Dữ liệu tổ chức theo không gian-thời gian: chọn ngày trên timeline và vị trí trên bản đồ để xem ảnh; hệ thống lưu cả lịch sử ảnh để đối chiếu. Chế độ Split View so sánh trực quan ảnh của hai mốc thời gian (ví dụ trước và sau lắp thiết bị điện nước) [42]. “Reveal Mode” trên di động dùng AR chồng ảnh cũ bán trong suốt lên cảnh thật, hỗ trợ phát hiện khác biệt hoặc phân việc ẩn sau lớp hoàn thiện [43].

dữ liệu đầu vào cho phân tích tiến độ và kiểm soát chất lượng số ở các phần tiếp theo.

4. TÍCH HỢP HÌNH ẢNH HIỆN TRƯỜNG VỚI MÔ HÌNH BIM

Tích hợp ảnh 360° với BIM là một điểm cốt lõi của OpenSpace AI, cho phép so sánh trực quan giữa “thực tế thi công” và “kế hoạch thiết kế” bất kỳ lúc nào, hỗ trợ đắc lực cho kiểm tra và nghiệm thu. Nền tảng cho phép tải mô hình BIM (IFC, NWD, RVT...) và đồng bộ hệ tọa độ với ảnh 360°. Chế độ BIM Compare hiển thị song song mô hình BIM 3D và ảnh toàn cảnh tại cùng vị trí, cùng góc nhìn [27], giúp phát hiện sai khác hoặc lỗi thi công – như thiếu cấu kiện, lỗ mở sai vị trí, hay sử dụng vật liệu khác. Hình 2 minh họa nguyên tắc đối chiếu BIM – ảnh thực tế trên OpenSpace.



Hình 3. So sánh mô hình BIM với hiện trạng thực tế: Tính năng Split View BIM Compare trên OpenSpace hiển thị mô hình thiết kế (phải) và ảnh 360° thi công (trái) cùng góc nhìn. Đối chiếu này giúp phát hiện nhanh sai lệch hay đối chiếu mô hình BIM (ví dụ: Hệ thống M&E). (Minh họa, nguồn: OpenSpace)

Việc tích hợp BIM đem lại ba lợi ích nổi bật. Thứ nhất, mô hình 3D cung cấp bối cảnh không gian đầy đủ, cho phép định vị và điều hướng ảnh 360° ngay trong môi trường BIM – ví dụ chọn một phòng trong mô hình, hệ thống sẽ hiển thị ảnh toàn cảnh gần nhất. Thứ hai, so sánh BIM – ảnh thực tế giúp kiểm soát chất lượng trực quan, giảm phụ thuộc vào việc đọc bản vẽ hoặc đo thủ công; thực tế, một dự án đã phát hiện và xử lý kịp thời nhiều xung đột nhờ BIM Compare [27]. Thứ ba, BIM kết hợp tiến độ 4D cho phép lọc mô hình theo giai đoạn, đối chiếu cấu kiện dự kiến hoàn thành với ảnh thực tế; OpenSpace hỗ trợ nhập kế hoạch từ Primavera P6, Microsoft Project... và liên kết trực tiếp với các hạng mục nhận diện, hình thành dashboard 4D trực quan.

Ngoài BIM, OpenSpace còn tích hợp với các nền tảng CDE phổ biến như Procore và Autodesk BIM 360 (ACC). Nhờ plugin tích hợp, người dùng có thể xem ảnh 360° ngay trong Procore/BIM 360 và đồng bộ ghi chú, vấn đề (issue) giữa hai hệ thống [31]. Ví dụ, khi phát hiện lỗi trên ảnh OpenSpace, kỹ sư có thể tạo Issue trong BIM 360 hoặc RFI trong Procore kèm ảnh minh chứng, giúp quy trình QA/QC diễn ra liền mạch.

Đáng chú ý, OpenSpace không bắt buộc dự án phải có mô hình BIM; hệ thống vẫn vận hành chỉ với bản vẽ 2D [46][47]. Tuy nhiên, khi có BIM, các tính năng nâng cao được khai thác tối đa. Theo thống kê của OpenSpace, khoảng 50% khách hàng kết hợp BIM (thường ở dự án lớn, kỹ thuật phức tạp), còn lại sử dụng ảnh 360° trên bản vẽ 2D [48].

Dù ở trường hợp nào, giá trị cốt lõi vẫn là tạo nguồn dữ liệu hiện trạng đáng tin cậy và dễ truy xuất, thu hẹp khoảng cách thông tin giữa hiện trường và văn phòng.

Tóm lại, tích hợp ảnh hiện trường với BIM biến OpenSpace thành “cầu nối kỹ thuật số” giữa thế giới thực và thiết kế, giúp các bên liên quan “nhìn thấy” công trình đang được xây dựng so với dự định, từ đó ra quyết định nhanh chóng và chính xác hơn.

5. THEO DÕI TIẾN ĐỘ THI CÔNG TỰ ĐỘNG BẰNG AI

Theo dõi tiến độ bằng AI (Progress Tracking) là một trong những tính năng nổi bật nhất của OpenSpace AI, cho phép phân tích mức độ hoàn thành công việc trực tiếp từ ảnh 360°. Thay vì cán bộ kỹ thuật phải dò từng hạng mục và nhập thủ công, hệ thống tự động nhận diện các đối tượng xây dựng (tường, trần, cửa, thiết bị MEP,...) và đối chiếu với kế hoạch để tính toán tiến độ thực tế.

Nguyên lý hoạt động – OpenSpace Progress Tracking ứng dụng thị giác máy tính và học máy để “hiệu” nội dung ảnh 360°. Thuật toán được huấn luyện nhận biết hơn 700 loại đối tượng/hạng mục phổ biến, tương ứng với khoảng 200 mục công việc trong tiến độ [28]. Khi ảnh mới được tải lên, hệ thống phân tích từng khung hình để xác định mức độ thi công của từng hạng mục (ví dụ tường thạch cao, lắp đặt ống cứu hỏa, dây điện...), rồi tổng hợp theo khu vực và so sánh thực tế và kế hoạch (*Planned vs. Actual*) nếu lịch thi công đã

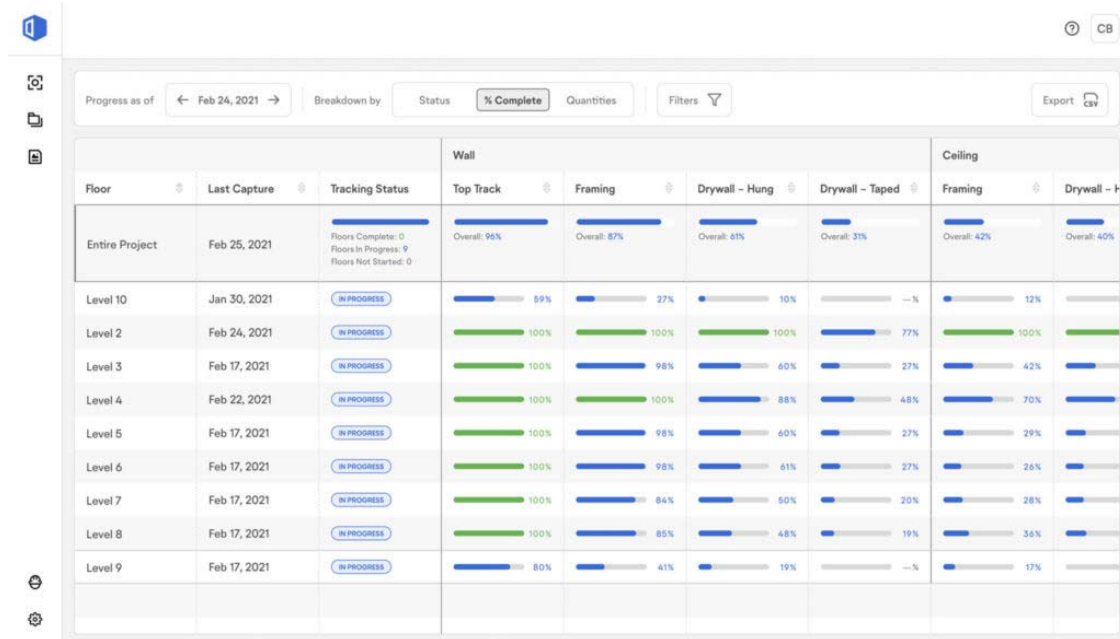
được nhập [49][50]. Kết quả hiển thị phần trăm hoàn thành, phần diện tích chưa hoàn thiện, và cả tốc độ thi công (rate of work) để dự báo nguy cơ chậm tiến độ [49].

AI kết hợp con người – OpenSpace áp dụng phương pháp “AI + Human in the loop” nhằm bảo đảm độ tin cậy. Dữ liệu nhận diện tự động được đội ngũ chuyên gia của đối tác Disperse kiểm định trước khi lập báo cáo [51], khắc phục hạn chế của AI trong điều kiện ảnh khó hoặc phức tạp. Trên giao diện, phần trăm tiến độ sẽ có trạng thái “Verified” (đã kiểm chứng) hoặc “Pending Verification” (đang chờ xác minh), giúp nhóm dự án yên tâm sử dụng cho các mục đích quan trọng như xác nhận khối lượng thanh toán..

Tính linh hoạt – Module Progress Tracking được thiết kế tùy biến cao để phù hợp nhiều loại dự án. Người dùng có thể bổ sung các hạng mục đặc thù bằng cách “đạy” hệ thống qua gắn nhãn ban đầu nếu không thuộc 700 đối tượng nhận diện sẵn [52]. Hệ thống vẫn hoạt động khi dự án không có BIM, bằng cách so sánh ảnh 360° với bản vẽ 2D và lịch tiến độ

[53][54], phù hợp với công trình dân dụng đơn giản ít dùng BIM chi tiết. Ngoài ra, OpenSpace tích hợp linh hoạt với nhiều công cụ lập tiến độ: nhập dữ liệu từ Primavera P6, Asta Powerproject, Microsoft Project hoặc Excel, và tự động liên kết các mốc tiến độ với đối tượng nhận diện [50][55].

Thông tin đầu ra – Kết quả phân tích tiến độ được hiển thị trên báo cáo và dashboard trực quan, cho phép xem tổng thể hoặc lọc theo khu vực/tầng, nhà thầu phụ, hoặc nhóm công việc (kết cấu, hoàn thiện, cơ điện...) [56]. Biểu đồ *Planned vs. Actual* cho thấy rõ tỷ lệ hoàn thành so với kế hoạch [57]. Tính năng Spotlight cung cấp cảnh báo sớm khi AI phát hiện vấn đề, ví dụ: “Khu vực X còn sót phần việc chưa làm, cản trở hoàn thành hạng mục Y” [58]. Thực tế, một nhà thầu cho biết OpenSpace giúp họ nhận diện nút thắt năng suất ngay từ khi dự án mới đạt 10% khối lượng, thay vì tới 50% như phương pháp truyền thống [1], mang lại thời gian quý giá để điều chỉnh và tránh chi phí phát sinh do chậm tiến độ.



Hình 4. Giao diện OpenSpace Progress Tracking: hệ thống hiển thị bảng tiến độ theo tầng và hạng mục (Top Track, Framing, Drywall–Hung, Drywall–Taped, Ceiling, v.v.) với tỷ lệ % hoàn thành, trạng thái cập nhật và ngày chụp gần nhất. Người dùng có thể theo dõi tiến độ tổng thể toàn dự án hoặc chi tiết từng tầng, hỗ trợ giám sát khách quan và ra quyết định kịp thời. (Minh họa, nguồn: OpenSpace)

Các tính năng chính – Tóm lược lại, OpenSpace Progress Tracking cung cấp bộ công cụ toàn diện cho quản lý tiến độ:

- Thu thập dữ liệu nhanh và chính xác – Tự động gắn ảnh vào bản vẽ/BIM, xử lý tới ~25.000

ft² trong khoảng 15 phút mỗi lần quét [59], cho phép cập nhật tiến độ liên tục.

- Phân tích tiến độ bằng AI kết hợp kiểm chứng – AI nhận diện mức hoàn thành dựa trên cơ sở dữ liệu 700+ đối tượng, có con người kiểm tra để bảo đảm khách quan, đáng tin cậy [51][60].

- Báo cáo tùy chỉnh linh hoạt – Tạo báo cáo theo giai đoạn, khu vực, nhà thầu phụ hoặc mốc thanh toán; hỗ trợ xuất dữ liệu sang Excel, PDF phục vụ họp tiến độ và nghiệm thu [54].

- Tích hợp kế hoạch 4D – Kết nối Primavera, MS Project... để tự động so sánh kế hoạch với thực tế, loại bỏ nhập liệu thủ công [55].

- Không phụ thuộc BIM – Áp dụng cho mọi loại dự án (nhà cao tầng, nhà xưởng, hạ tầng...) kể cả khi không có mô hình BIM; hỗ trợ công tác ngoại thất bằng dữ liệu drone qua OpenSpace Air [61][62].

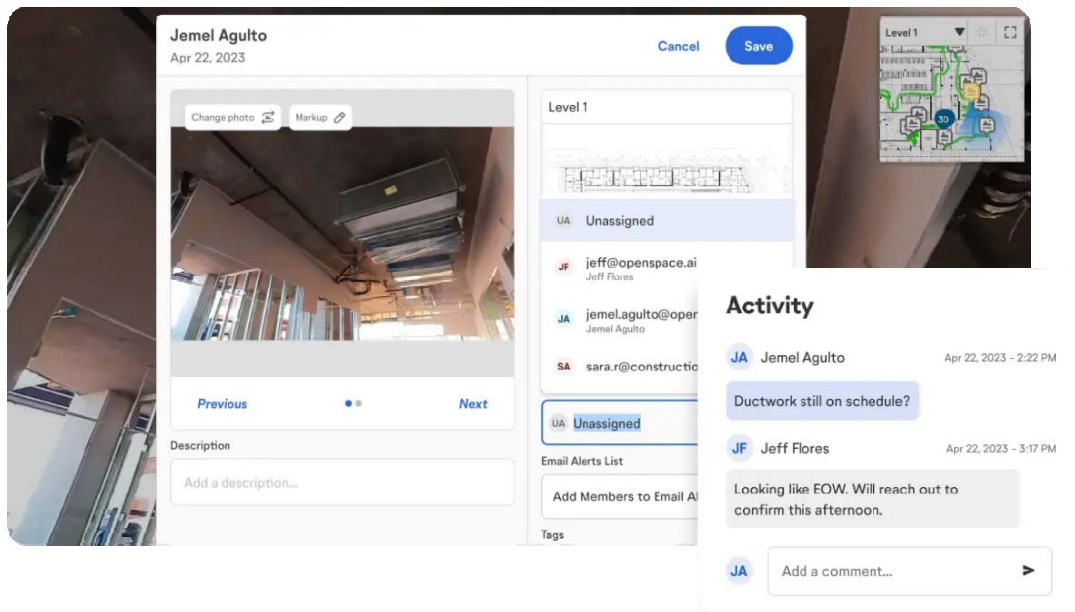
Cảnh báo và phân tích nguyên nhân – Chỉ ra khu vực trì trệ hoặc điểm cần lưu ý (*Spotlight*), đồng thời cung cấp số liệu năng suất (ví dụ m² hoàn thiện/tuần) để đánh giá hiệu quả thi công.

Nhờ những tính năng này, OpenSpace mang đến “bức tranh tiến độ sống” cho công trường, giúp chủ đầu tư xác nhận khối lượng thanh toán hoặc đánh giá nhà thầu, nhà thầu chính kiểm soát và phối hợp tổ đội hiệu quả, tư vấn giám sát giảm khối lượng kiểm tra thủ công. Tất cả cùng truy cập một nguồn dữ liệu tiến độ trực quan, minh bạch, giảm tranh cãi – đặc biệt hữu ích cho dự án quy mô lớn, phức tạp, nơi cách quản lý truyền thống dễ sai sót hoặc thiếu trung thực.

6. KIỂM SOÁT CHẤT LƯỢNG THI CÔNG DỰA TRÊN DỮ LIỆU SỐ

Quản lý chất lượng (QA/QC) – Bên cạnh theo dõi tiến độ, OpenSpace AI hỗ trợ kiểm soát chất lượng thi công thông qua hồ sơ ảnh 360° toàn diện, bao quát từ móng đến hoàn thiện, kể cả các hệ thống ẩn trong tường. QA/QC có thể truy cập toàn cảnh khu vực tại thời điểm thi công để kiểm tra chi tiết, ví dụ độ hoàn thiện sơn hoặc sự phù hợp của hệ thống MEP trên trần so với bản vẽ. Với hạng mục bị che khuất (cốt thép, đường điện âm tường...), ảnh 360° lưu theo dòng thời gian trở thành “hồ sơ hiện trạng ẩn”, cho phép đối chiếu sau này và làm bằng chứng khách quan khi giải quyết tranh chấp. Thực tế, một dự án hạ tầng đã dùng ảnh OpenSpace trong giai đoạn *claim* để xác định tổ đội thi công và điều kiện hiện trường tại vị trí khiếm khuyết [16].

Field Notes là công cụ QA/QC quan trọng: khi phát hiện lỗi, kỹ sư có thể tạo ghi chú ngay trên ảnh 360°, ghim tọa độ, đính kèm hình ảnh và gán người xử lý. Các ghi chú này đồng bộ sang hệ thống quản lý chất lượng (Autodesk BIM 360, Procore...) [31], loại bỏ việc ghi lỗi thủ công và tránh bỏ sót. Tất cả các bên liên quan có thể xem vấn đề trực quan, thống nhất hướng khắc phục nhanh hơn; đồng thời, báo cáo tổng hợp Field Notes (Excel/PDF) hỗ trợ họp chất lượng định kỳ.



Hình 5. Giao diện Field Notes trên OpenSpace: ảnh hiện trường 360° kèm công cụ đánh dấu (Markup), mô-đun gán người phụ trách/nhận cảnh báo email và thẻ (tags), bản đồ vị trí theo tầng; khung Activity ghi luồng trao đổi có dấu thời gian, giúp theo dõi và đóng vấn đề trực tiếp trên bối cảnh ảnh

Ngoài ra, tích hợp BIM như đã trình bày ở mục 4 cũng hỗ trợ kiểm soát chất lượng: so sánh mô hình thiết kế với ảnh thực tế giúp phát hiện ngay các điểm sai lệch như lắp sai thiết bị hoặc thiếu hạng mục. Chế độ *BIM Compare* cho phép đội QA/QC rà soát toàn bộ công trình có hệ thống, phát hiện sớm và xử lý ngay khi lỗi vừa phát sinh, tránh tình trạng lỗi nhỏ tích tụ đến giai đoạn nghiệm thu cuối.

Bên cạnh QA/QC, dữ liệu ảnh 360° còn phục vụ quản lý an toàn. Ảnh toàn cảnh ghi lại điều kiện làm việc, tình trạng trang bị bảo hộ, rào chắn và bố trí thiết bị. Ban an toàn có thể duyệt ảnh hàng ngày để phát hiện vi phạm (ví dụ thiếu lan can) và yêu cầu khắc phục kịp thời. Một dự án cầu đường đã áp dụng “tuần tra ảo” từ xa để nhận diện nguy cơ và giảm tần suất ra công trường [63], góp phần hạ rủi ro tai nạn, đặc biệt trong giai đoạn COVID-19 [64][65].

Về quản lý rủi ro và chi phí, hồ sơ ảnh toàn diện hỗ trợ giải quyết tranh chấp và yêu cầu bảo hiểm. OpenSpace cung cấp bằng chứng rõ ràng cho sự cố như hư hỏng, tai nạn, giúp giảm tới 25% phí bảo hiểm nhờ cải thiện quản lý rủi ro [66]. Nhờ minh bạch khối lượng, các nhà thầu cũng tránh được trung bình 15.000 USD chi phí tranh chấp thanh toán [67].

Tóm lại, OpenSpace AI vừa là công cụ theo dõi tiến độ vừa đảm bảo chất lượng thi công một cách chủ động, minh chứng đầy đủ. Khả năng “nhìn lại mọi thứ” trên công trường giúp phát hiện và chỉnh sửa sai lệch kịp thời, giảm rework, nâng cao chất lượng bàn giao và củng cố niềm tin giữa các bên nhờ tính minh bạch.

7. KẾT QUẢ TRIỂN KHAI THỰC TẾ VÀ ĐỐI CHIẾU THEO KHUNG KPI

7.1. Kết quả triển khai thực tế

Hiệu quả triển khai thực tế – OpenSpace AI đã được áp dụng trên hàng chục nghìn dự án toàn cầu, từ tòa nhà cao tầng, bệnh viện, trung tâm dữ liệu đến hạ tầng cầu đường, mang lại lợi ích định lượng rõ rệt.

Thời gian và chi phí – Nhiều nhà thầu ghi nhận thời gian quản lý hiện trường giảm đáng kể. MAPP Construction cho biết tại dự án Bảo tàng Thế chiến II, khối lượng công việc của chỉ huy trưởng giảm 20–30% nhờ chuyển trao đổi hiện trường lên nền tảng số tích hợp Procore [68]. Western Partitions báo cáo khoản đầu tư OpenSpace hoàn vốn sau 1/3 thời gian dự án nhờ giảm sai sót và tăng năng suất

[69]. Trung bình, khách hàng ghi nhận: ghi nhận hiện trạng nhanh hơn 15 lần, giảm 50% số chuyến đi lại, tiết kiệm >50.000 USD chi phí rework và hàng trăm giờ phối hợp [2]. Một số nhà thầu tránh được \$10–15k tranh chấp thanh toán mỗi tháng nhờ đối chiếu khối lượng minh bạch bằng hình ảnh [70].

Tiến độ và kế hoạch – Commodore Builders cho biết nhờ Progress Tracking (kết hợp Disperse), họ phát hiện nút thắt tiến độ ngay từ 10% khối lượng thay vì 50% như trước [1], giúp điều chỉnh kịp thời và về đích đúng hạn. Thời gian họp phối hợp hàng tuần giảm ~1/3 nhờ các bên đã nắm tình hình qua ảnh và chú thích trực tuyến, hạn chế họp trực tiếp.

Chất lượng và an toàn – Một dự án văn phòng nhiều tầng báo cáo giảm tới 67% chi phí phần lớn nhờ giảm rework và phối hợp hiệu quả hơn [71][72]. Hồ sơ ảnh đầy đủ giúp phát hiện, xử lý sớm vấn đề trước bàn giao, giảm khiếu nại bảo hành. Trong COVID-19, OpenSpace hỗ trợ giám sát từ xa, duy trì tiến độ và tuân thủ an toàn [64]; sau đó, nhiều công ty tiếp tục áp dụng để giảm hiện diện vật lý, hạ rủi ro tai nạn [65].

Phản hồi định tính – Kỹ sư hiện trường ví OpenSpace như “cỗ máy thời gian” lưu trữ và truy xuất mọi công việc [73]. Chủ đầu tư đánh giá cao minh bạch; Nedbank (Nam Phi) coi đây là công cụ giám sát rủi ro chủ động, tin cậy [74][75]. Đối với đội BIM/QLDA, OpenSpace giúp hiện thực hóa *digital twin* gắn dữ liệu ảnh thực tế sống động theo thời gian, thu hẹp khoảng cách giữa mô hình và hiện trường.

Kết luận thực tiễn – Các minh chứng cho thấy tích hợp ảnh 360° gắn vị trí–thời gian với BIM & AI là khả thi và mang lại giá trị kinh tế – kỹ thuật rõ rệt, giúp số hóa quản lý thi công, nâng cao hiệu quả về thời gian, chi phí, chất lượng và an toàn.

7.2. Dữ liệu tham chiếu và kết quả định lượng

Dữ liệu đánh giá được tổng hợp từ năm dự án quốc tế điển hình có áp dụng OpenSpace AI trong quản lý công trường: Devcon Construction, RG Construction, Lee Kennedy Co., Suffolk Construction và Kitchell Hospitals. Các thông tin được công bố trong các báo cáo kỹ thuật và case study chính thức của OpenSpace (2023–2024). Kết quả tổng hợp cho thấy OpenSpace mang lại các cải thiện đáng kể về độ đầy đủ hồ sơ ảnh, tốc độ tải liệu hóa và hiệu quả quản lý tiến độ – chất lượng.

Chỉ tiêu đánh giá	Giá trị trước khi áp dụng (phương pháp thủ công)	Giá trị sau khi áp dụng OpenSpace AI	Mức cải thiện (%) / Hệ số	Nguồn tham chiếu
Độ đầy đủ hồ sơ ảnh (Coverage)	10–15% (ảnh rời rạc, không liên tục)	95–100% (ảnh toàn cảnh, tự gắn tọa độ–thời gian)	~10×	Devcon, Lee Kennedy
Thời gian tải liệu hóa công trường	4–5 tuần cho mỗi giai đoạn	3–5 ngày (giảm trung bình 70– 80%)	–70~80%	Suffolk, Kitchell
Hiệu suất thu thập dữ liệu	30–50 m ² /phút (thủ công)	300–500 m ² /phút (walkthrough)	~10×	RG Construction
Chi phí/Thời gian di chuyển hiện trường	100% (chuẩn)	Giảm trung bình 30–35%	–30%	Lee Kennedy
Thời gian xử lý issue (Field Notes)	6–8 ngày	2–3 ngày (≥80% đóng đúng hạn)	–60%	Kitchell, Suffolk
Giờ hành chính tiết kiệm	–	≥40 giờ/tháng/người	+40h	RG Construction

Như vậy, xét trên tổng thể, việc triển khai OpenSpace giúp nâng cao tốc độ phản hồi và độ tin cậy của dữ liệu hiện trường, đồng thời giảm đáng kể khối lượng công việc hành chính và sai sót trong ghi nhận tiến độ.

Các số liệu trên được sử dụng làm đại benchmark tham chiếu (baseline) cho khung đánh

giá thực nghiệm đã trình bày tại Mục 2.4, nhằm định lượng hiệu quả khi áp dụng tại Việt Nam.

7.3. Đối chiếu kết quả theo khung kpi nghiên cứu

Dựa trên khung KPI được định nghĩa tại Mục 2.3, các giá trị benchmark quốc tế được quy đổi thành hệ số cải thiện trung bình (Improvement Ratio) để làm cơ sở đánh giá so sánh.

KPI	Giá trị chuẩn (Benchmark quốc tế)	Giá trị kỳ vọng khi áp dụng tại Việt Nam	Hệ số hiệu quả (VN/Benchmark)	Ghi chú
Độ đầy đủ ảnh (Coverage)	100%	85–90%	0.85–0.9×	Phụ thuộc băng thông và tần suất walkthrough
Tốc độ tracking (m ² /giờ)	350	250–300	0.7–0.85×	Giảm do điều kiện mạng & thiết bị
Time-to-report (ngày)	3–5	5–7	0.7×	Do thiếu đội kỹ thuật chuyên trách
SLA Field Notes (tỷ lệ đóng ≤3 ngày)	80–90%	70–80%	0.85×	Phụ thuộc quy trình nội bộ
Giờ hành chính tiết kiệm/tháng	≥40h	25–35h	0.75×	Phụ thuộc quy mô dự án

Kết quả quy đổi cho thấy trong điều kiện Việt Nam (với các yếu tố hạn chế về hạ tầng và nhân lực), hiệu quả có thể đạt 70–85% so với mức benchmark quốc tế, tương ứng với tiềm năng tiết kiệm thời gian và chi phí đáng kể, đặc biệt ở giai đoạn hoàn thiện và nghiệm thu.

7.4. Phân tích

a) Tác động tới quy trình giám sát hiện trường: Hệ thống ảnh 360° gắn tọa độ–thời gian giúp tăng tính minh bạch và khả năng truy xuất của dữ liệu,

đặc biệt trong các hạng mục có thay đổi nhanh (MEP, hoàn thiện, nội thất). Việc kết hợp tự động với BIM giúp rút ngắn chu kỳ xác minh khối lượng (Verified Progress) từ vài ngày xuống còn vài giờ.

b) Tác động tới QA/QC và kiểm soát lỗi thi công: Tính năng Field Notes giúp các bên tham gia (tư vấn, nhà thầu, giám sát) phát hiện – phân loại – giao việc trên cùng một nền tảng, giảm tranh cãi và tăng tốc độ khắc phục lỗi. Số liệu từ các dự án quốc tế cho thấy tỷ lệ issue đóng đúng hạn tăng 25–40% so với quy trình truyền thống.

c) Tác động tới năng suất và chi phí vận hành: Do giảm số lần di chuyển hiện trường và khối lượng ảnh phải sắp xếp thủ công, mỗi kỹ sư giám sát tiết kiệm trung bình 30–40 giờ hành chính/tháng, tương đương khoảng 15–20% tổng thời gian làm việc. Khi nhân rộng ra toàn dự án, đây là yếu tố ROI (Return on Investment) đáng kể cho các chủ đầu tư.

d) So sánh với điều kiện Việt Nam: Ở Việt Nam, các yếu tố hạn chế như hạ tầng 4G/5G chưa ổn định, thói quen báo cáo thủ công, và thiếu nhân sự chuyên về BIM/AI có thể làm giảm hiệu quả tổng thể. Tuy nhiên, các thử nghiệm nội bộ tại một số doanh nghiệp chủ đầu tư lớn (VinGroup, SunGroup, Hòa Bình...) đã cho thấy mức sẵn sàng kỹ thuật ở mức khá, đặc biệt khi OpenSpace được tích hợp cùng Autodesk BIM 360 hoặc Navisworks Manage.

7.5. Đóng góp của tác giả và hướng nội địa hóa

Từ các kết quả phân tích trên, nhóm nghiên cứu đề xuất khung KPI – quy trình – chỉ số chuẩn hóa (trình bày tại Mục 2) như một mô hình tham chiếu có thể tái lập cho các dự án Việt Nam. Đóng góp chính của tác giả gồm:

1. Thiết kế khung phương pháp A/B và trước–sau, có khả năng lượng hóa hiệu quả của nền tảng OpenSpace trong điều kiện thực tế.

2. Xây dựng bộ KPI chuẩn hóa, kết nối trực tiếp giữa dữ liệu ảnh 360°, mô hình BIM và các chỉ tiêu quản lý tiến độ – chất lượng.

3. Đề xuất mô hình triển khai thí điểm tại Việt Nam, bao gồm quy trình thu thập, xử lý, đánh giá và báo cáo định kỳ – hướng đến chuẩn hóa quy trình “Digital Site Supervision”.

Kết quả này không chỉ khẳng định hiệu quả của OpenSpace AI trong các dự án quốc tế mà còn cung cấp khung đánh giá định lượng để nội địa hóa và áp dụng cho thị trường Việt Nam, phù hợp với mục tiêu chuyển đổi số ngành xây dựng giai đoạn 2025–2030.

Các kết quả và phân tích nêu trên cho thấy nền tảng OpenSpace AI không chỉ là công cụ hỗ trợ trực quan hóa công trường, mà còn là một mô hình quản lý dữ liệu và ra quyết định hiệu quả, giúp rút ngắn chu kỳ thi công, tăng tính minh bạch và thúc đẩy năng lực quản lý số của ngành xây dựng Việt Nam.

8. THẢO LUẬN

Đổi mới quy trình & thách thức triển khai – Việc áp dụng OpenSpace đòi hỏi điều chỉnh quy trình quản lý. Thứ nhất, yếu tố con người và đào

tạo rất quan trọng: dù thao tác “đeo và đi” đơn giản, nhân sự hiện trường cần được hướng dẫn về góc quét, tốc độ di chuyển và sử dụng ứng dụng [76]. Sự hợp tác của đội thi công là thiết yếu, tránh bỏ sót lịch quay chụp định kỳ. Doanh nghiệp cần quy trình chuẩn (ví dụ: mỗi tầng tối thiểu 2 lần walkthrough/tuần, dùng QR QuickCodes cố định điểm) [77] để biến việc ghi nhận thành thói quen. Kinh nghiệm cho thấy sau thời gian làm quen, đa số nhân sự đón nhận tích cực vì giảm công việc thủ công.

Thứ 2 vấn đề kỹ thuật và dữ liệu: OpenSpace dựa trên hạ tầng cloud, do đó yêu cầu kết nối internet ổn định để upload lượng lớn ảnh (mỗi lần quét có thể hàng GB dữ liệu). Tại các công trường vùng sâu, việc đảm bảo 4G hoặc Wi-Fi có thể là thách thức. Tuy nhiên, OpenSpace đã có cơ chế lưu tạm và đẩy lên sau nên phần nào khắc phục được. Một mối quan tâm khác là dung lượng lưu trữ – dự án kéo dài nhiều tháng sẽ tích tụ hàng chục terabyte dữ liệu ảnh. Hiện chi phí lưu trữ cloud tương đối rẻ và OpenSpace đã bao gồm trong dịch vụ, nhưng doanh nghiệp cần tính toán nếu muốn trích xuất lâu dài sau dự án. Về bảo mật, hình ảnh công trường có thể chứa thông tin nhạy cảm (thiết kế, thiết bị...). OpenSpace khẳng định hệ thống của họ bảo mật mức cao (SOC2, mã hóa, phân quyền)[78]. Dù vậy, chủ đầu tư và nhà thầu vẫn cần có chính sách kiểm soát quyền truy cập phù hợp trên nền tảng, đảm bảo chỉ những người liên quan dự án mới xem được dữ liệu.

Thứ ba, giới hạn công nghệ AI: thuật toán không bao phủ mọi loại cấu kiện, dự án đặc thù cần gắn nhãn bổ sung [52]. Độ chính xác phụ thuộc chất lượng ảnh; điều kiện tối hoặc che khuất có thể gây sai lệch, nên OpenSpace duy trì bước kiểm chứng con người. Độ chính xác hình học của ảnh 360° cũng kém hơn quét laser [79], phù hợp theo dõi tiến độ hơn là đo kiểm chi tiết, do đó không thay thế hoàn toàn thiết bị đo trong QA/QC.

Khả năng mở rộng và ứng dụng tương lai – Ban đầu tập trung vào công trình cao tầng và nội thất, OpenSpace đang mở rộng sang hạ tầng và giao thông thông qua OpenSpace Air, kết hợp dữ liệu drone để theo dõi khối lượng san lấp, tiến độ cầu đường [61]. Ngoài ra, có thể tích hợp với robot như Boston Dynamics Spot gắn camera 360° tự động chụp hàng ngày, tăng hiệu quả giám sát [80][81].

Một hướng khác là phân tích *big data* từ kho ảnh tích lũy: AI có thể rút kinh nghiệm từ hàng tỷ

ảnh để dự đoán hạng mục thường chậm và nguyên nhân, hỗ trợ lập kế hoạch tối ưu. OpenSpace đã bước đầu triển khai báo cáo “Insights” như top 10 nguyên nhân chậm trễ dựa trên dữ liệu nhiều dự án, hướng tới hệ thống hỗ trợ quyết định thông minh cho quản lý xây dựng.

So sánh với phương pháp truyền thống: Bảng 2 dưới đây tóm tắt sự khác biệt giữa quy trình theo dõi tiến độ & chất lượng bằng OpenSpace so với cách làm truyền thống:

Bảng 2. So sánh quy trình giám sát tiến độ & chất lượng: Truyền thống vs. OpenSpace AI

Hoạt động	Truyền thống (thủ công)	Với OpenSpace AI (số hóa)
Ghi chép hiện trạng	Kỹ sư chụp ảnh bằng máy ảnh/điện thoại, ghi chú bằng sổ hoặc file; ảnh lưu tản mát, khó tra cứu [73].	Camera 360° tự động chụp toàn cảnh; dữ liệu ảnh lưu trên cloud, truy cập thống nhất qua bản đồ số [26].
Theo dõi tiến độ	Chỉ huy cập nhật tiến độ dựa trên báo cáo tổ đội, checklist; dễ chủ quan, sai số.	AI phân tích mức hoàn thành qua ảnh; số liệu khách quan, được xác thực [19][51]; dashboard trực quan.
Phát hiện chậm tiến độ	Dựa vào kinh nghiệm, thường phát hiện tại họp tuần/tháng; có độ trễ, nhiều khi muộn để xử lý.	Cảnh báo tự động hàng ngày (<i>Spotlight</i>); phát hiện sớm ngay khi mới 10% khối lượng [1].
Kiểm tra chất lượng	Nhân viên QA/QC đi tuần, dùng checklist giấy; phụ thuộc vào quan sát trực tiếp, dễ bỏ sót.	Kiểm tra từ xa qua ảnh 360°; so sánh BIM – ảnh phát hiện sai khác thiết kế [27]; không gian ảo cho phép soi chi tiết.
Lưu trữ hồ sơ chất lượng	Lưu biên bản nghiệm thu, ảnh rời; tra cứu khó, thiếu trực quan.	Ảnh hiện trường lưu theo dòng thời gian; bằng chứng rõ ràng cho từng bước thi công [16]; dễ xem lại khi cần.
Quản lý vấn đề (issue)	Ghi lỗi vào sổ, chụp ảnh, gửi qua email/Zalo; dễ thất lạc, thiếu minh bạch.	Tạo <i>Field Note</i> trên ảnh 360°, gán người xử lý, đồng bộ Procore/BIM 360 [31]; theo dõi xử lý trên dashboard.
Tương tác giữa các bên	Họp trực tiếp tại công trường, kiểm tra cùng; tốn thời gian di chuyển và sắp lịch.	Xem ảnh online, thảo luận qua nhận xét trên nền tảng; họp từ xa có hình ảnh hỗ trợ, giảm số lần gặp trực tiếp [82][83].
Tranh chấp & pháp lý	Dựa vào hợp đồng, biên bản, ảnh rời; thông tin dễ bị bóp méo hoặc thiếu khách quan.	Dữ liệu ảnh thời gian thực là bằng chứng xác thực, khó chối cãi; giảm tranh chấp nhờ minh bạch [33].

Từ so sánh trên, có thể thấy OpenSpace đã tái định nghĩa cách thức giám sát thi công theo hướng dữ liệu hóa và trực quan, mang lại nhiều cải thiện so với quy trình truyền thống. Dù vậy, nhóm tác giả cũng lưu ý rằng công nghệ không thể thay thế hoàn toàn vai trò của con người tại hiện trường. Kinh nghiệm và chuyên môn của kỹ sư vẫn rất cần thiết để đánh giá những vấn đề phức tạp mà AI chưa “hiểu” được (ví dụ đánh giá chất lượng bê tông qua âm thanh gõ, hoặc kiểm tra cảm quan vật liệu hoàn thiện). OpenSpace nên được xem như công cụ hỗ trợ giúp con người làm việc hiệu quả hơn, chứ không loại bỏ con người. Khi vận dụng đúng cách, sự kết hợp giữa công nghệ số và chuyên môn hiện trường sẽ tạo nên sức mạnh tổng hợp, đưa công tác quản lý thi công lên một tầm cao mới trong kỷ nguyên chuyển đổi số của ngành xây dựng.

9. KẾT LUẬN

Kết luận – Nghiên cứu đã hệ thống hóa việc ứng dụng OpenSpace AI trong theo dõi tiến độ và kiểm soát chất lượng thông qua tích hợp ảnh 360° gắn tọa độ–thời gian với BIM và AI, với các kết luận chính sau:

Tính khả thi và hiệu quả – OpenSpace dễ triển khai, không yêu cầu hạ tầng phức tạp, tận dụng thiết bị phổ biến (camera 360°, điện thoại) và quy trình thân thiện. Hiệu quả thể hiện ở việc tiết kiệm thời gian giám sát, phát hiện sớm vấn đề, giảm rework và tranh chấp, minh bạch thông tin, giúp dự án đạt tiến độ, đảm bảo chất lượng và an toàn, đồng thời tiết kiệm chi phí.

Tầm quan trọng của tích hợp công nghệ – Việc kết hợp 360° + BIM + AI mang lại sức mạnh vượt trội so với dùng đơn lẻ: ảnh 360°

cung cấp dữ liệu thực tế toàn diện, BIM tạo bối cảnh đối chiếu, AI xử lý khối lượng dữ liệu lớn và trích xuất thông tin giá trị. Bộ ba này hình thành hệ thống giám sát số thông minh – nền tảng cho *Digital Twin*, minh chứng rõ rệt cho xu hướng chuyển đổi số trong xây dựng.

Lợi ích đa chiều – OpenSpace AI mang lại giá trị cho mọi bên: chủ đầu tư và tư vấn có công cụ giám sát khách quan; nhà thầu chính quản lý và phối hợp tốt hơn, giảm rủi ro chậm tiến độ; nhà thầu phụ giảm thủ tục và làm rõ khối lượng; dự án hoàn thành với chất lượng cao hơn, ít sự cố hơn.

Thách thức và hướng khắc phục – Các trở ngại như thay đổi thói quen, yêu cầu mạng ổn định, giới hạn AI... có thể khắc phục qua đào tạo, bổ sung quy trình chụp ảnh định kỳ và cải tiến thuật toán. Doanh nghiệp cần nhận thức lợi ích dài hạn để cam kết đầu tư và thúc đẩy áp dụng.

Tiềm năng nhân rộng – Với kết quả tích cực, giải pháp như OpenSpace AI sẽ được triển khai rộng hơn, đặc biệt khi thị trường yêu cầu minh bạch và hiệu quả. Giống như BIM trở thành bắt buộc ở nhiều dự án, việc ghi nhận hiện trường bằng ảnh 360° và theo dõi tiến độ tự động có thể sớm thành tiêu chuẩn quản lý dự án.

Kết luận chung – Sự kết hợp ảnh 360°, BIM và AI qua OpenSpace AI đánh dấu bước tiến quan trọng trong quản lý thi công, nâng cao độ chính xác, tính kịp thời và minh bạch của thông tin, qua đó tăng năng suất và giảm rủi ro. Để tối đa hóa lợi ích, các bên cần sẵn sàng thay đổi, thích ứng với phương thức quản lý dựa trên dữ liệu số. Với xu hướng chuyển đổi số, các “công trường số” ứng dụng AI như OpenSpace sẽ ngày càng phổ biến, góp phần hiện đại hóa ngành xây dựng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] <https://aecomag.com/technology/finchuntethered/>
- [2] <https://en.vietnamplus.vn/vietnam-strives-to-build-995445-social-housing-units-by-2030-post310680.vnp>.
- [3] <https://www.archdaily.com/929300/can-a-machine-perform-the-work-of-an-architect-achat-with-jesper-wallgren-founder-at-finch-3d>
- [4] <https://blog.inventure.vc/backing-finch-to-add-data-collaboration-and-intelligence-to-building-design-5763d0d298f9>
- [5] <https://medium.com/finch3d/introducingfinchgraph-rules-revolutionizing-the-designprocess-for-architects-2082d7d127bb>
- [6] <https://www.finch3d.com/>
- [7] Báo cáo chi tiết Finch 3d
- [8] <https://docs.finch3d.com/overview/newfeature>
- [9] <https://docs.finch3d.com/unit-plan-studio/adaptive-plan-library>
- [10] <https://parametric-architecture.com/10-aitools-to-generate-interior-and-architecturalimages>
- [11] <https://docs.finch3d.com/floor-plate-studio/generate-unit-mix-and-corridors>
- [12] <https://docs.finch3d.com/unit-plan-studio/enterprise-generate-unit-plan>
- [13] Sydora, C., & Stroulia, E. (2020). Rulebased compliance checking and generative design for building interiors using BIM. *Journal of IT in Construction*, 25: 275 – 293.
- [14] Xu, Y., Zhang, J., & Li, X. (2025). Multiobjective optimization of daylighting performance and solar radiation for building geometry using a hybrid evolutionary algorithm. *Scientific Reports*, 15(1), Article 12165.
- [15] <https://architosh.com/2024/09/finch3dadvances-ai-based-floor-plan-generator/>
- [16] <https://docs.finch3d.com/>
- [17] <https://docs.finch3d.com/fundamentals/share-and-present>