

ỨNG DỤNG MÔ HÌNH BIM TRONG VIỆC QUẢN LÝ CÁC DI SẢN KIẾN TRÚC

THS. KTS NGUYỄN THÙY TRANG, THS. KTS PHẠM THU TRANG

Bộ môn Kiến trúc Công nghệ – Khoa Kiến trúc và Quy hoạch – Trường ĐHXD Hà Nội

trangnt@huce.edu.vn; trangpt@huce.edu.vn

TÓM TẮT

Trong vài năm gần đây, việc ứng dụng mô hình BIM trong việc quản lý di sản đang được rất nhiều nước rất quan tâm. Một số dự án số hóa di sản thành công đã được tận hưởng những lợi ích bền vững mà BIM mang lại. Các phần mềm và thiết bị hiện đại được sử dụng trong HBIM (mô hình thông tin xây dựng di sản) đã tạo ra sự thay đổi đáng kể, đóng góp cho lĩnh vực khảo sát kiến trúc, bảo tồn và phục hồi di sản một cách hiệu quả và chính xác, nhờ việc tích hợp toàn bộ thông tin hình học và phi hình học trên một mô hình đồng nhất. Bài viết chia sẻ các bài học kinh nghiệm của một số nước trên thế giới, cũng như tại Việt Nam trong việc ứng dụng mô hình HBIM quản lý di sản để thấy rõ được quy trình thực hiện, những lợi ích và khó khăn trong quá trình triển khai. Từ đó xem xét tính khả thi, hữu dụng và bền vững của nó đối với các dự án số hóa di sản trong tương lai.

Từ khóa: HBIM; scan-to-BIM; 3D laser scanning; heritage

1 GIỚI THIỆU CHUNG

Ứng dụng mô hình thông tin công trình (BIM) trong xây dựng đang là xu thế tất yếu mang lại nhiều lợi ích cho các bên tham gia. Dựa vào hệ thống BIM, chúng ta có thể thiết lập và quản lý toàn bộ thông tin liên quan đến công trình trong suốt vòng đời của dự án từ bước lập quy hoạch, thiết kế, xây dựng, vận hành bảo trì cho đến khi tháo dỡ công trình.

Tại Việt Nam, BIM đang là một trong những xu hướng và cơ hội đột phá cho ngành xây dựng được chính phủ quan tâm, ban hành nhiều văn bản liên quan làm căn cứ pháp lý, gần đây nhất là Quyết định số 258/QĐ-TTg phê duyệt lộ trình áp dụng BIM trong hoạt động xây dựng, giai đoạn 1 thực hiện từ năm 2023 áp dụng BIM bắt buộc với các công trình cấp I, cấp đặc biệt của các dự án đầu tư xây dựng mới sử dụng vốn đầu tư công, vốn nhà nước ngoài đầu tư công và đầu tư theo phương thức đối tác công tư bắt đầu thực hiện các công việc chuẩn bị dự án [1].

Bên cạnh xu hướng áp dụng BIM ở các dự án xây dựng mới, trong vài năm trở lại đây, thuật ngữ HBIM (Heritage Building Information Modeling) – *Mô hình thông tin xây dựng di sản* hay nói cách khác là áp dụng mô hình BIM vào việc quản lý di sản cũng được nhắc đến nhiều hơn. Đây là một thuật ngữ còn khá mới mẻ không chỉ ở Việt Nam mà còn trên thế giới. HBIM là một quy trình chi tiết quản lý các thông tin hình học và phi hình học của di sản, từ đó giúp tái tạo lại di tích trong trường hợp bị hư hại hoặc biến mất, quản lý việc bảo tồn di sản trong các giai đoạn vận hành và bảo trì, bao gồm cả việc kết thúc vòng đời sử dụng của nó với việc phá dỡ và phục chế.

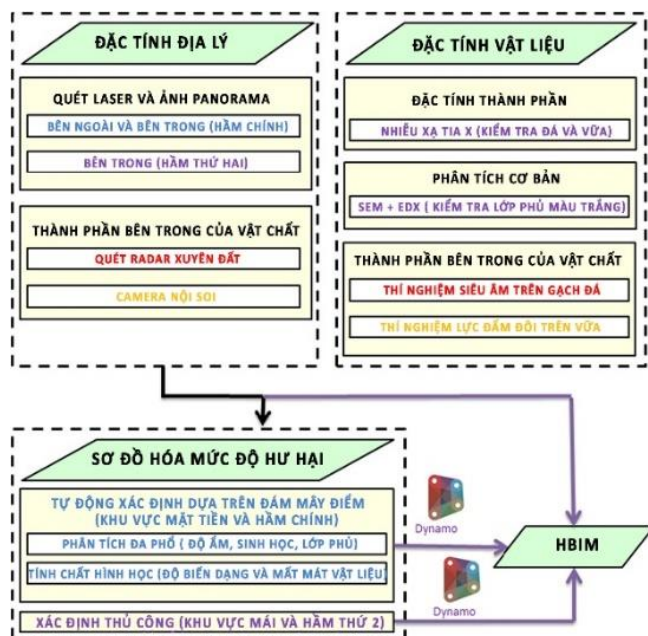
Bài viết này tổng hợp 4 bài học kinh nghiệm trong việc ứng dụng HBIM quản lý di sản kiến trúc, trên các khía cạnh: phân tích các hư hại của di sản về mặt kết cấu, vật liệu, khảo sát và lập một mô hình BIM hoàn thiện của di sản để làm dữ liệu phục vụ công tác bảo tồn và khôi phục trong tương lai. Bài viết phân tích các bước triển khai dự án, các thiết bị, phần mềm hỗ trợ sử dụng để thấy được một cách khái quát nhất quá trình thực hiện của từng dự án HBIM này.

2 MỘT SỐ ỨNG DỤNG CỦA HBIM TRONG VIỆC BẢO TỒN VÀ KHÔI PHỤC CÁC DI SẢN KIẾN TRÚC TRÊN THẾ GIỚI VÀ TẠI VIỆT NAM

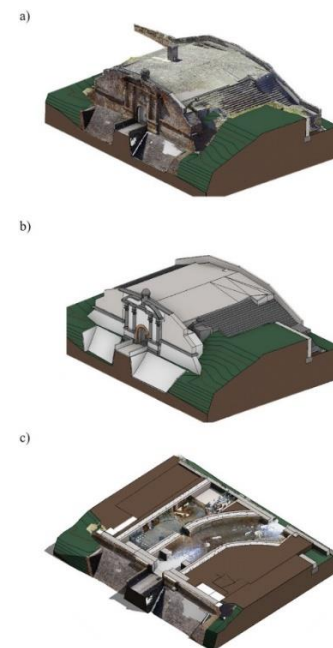
2.1 Sơ đồ hóa các hư hại tại di tích cổng pháo đài Almeida, Bồ Đào Nha bằng cách ứng dụng HBIM

Năm 2022, các nhà nghiên cứu Jesús Garcia Gago, Luis Javier Sánchez Aparicio, Mario Soilán và Diego González Aguilera đã tạo dựng lại mô hình HBIM cổng pháo đài Almeida ở Bồ Đào Nha bằng việc kết hợp giữa các công nghệ hiện đại như quét 3D đám mây điểm (Point cloud) với các phần mềm BIM cũng như ứng dụng trí tuệ nhân tạo [2]. Pháo đài Almeida là một công trình lịch sử nằm ở trung tâm thị trấn lịch sử Almeida, được xây dựng năm 1641 bởi kỹ sư người Pháp Antome Delville. Nằm ở phía tây nam Pháo đài Almeida, cổng San Francisco là một trong hai lối chính để vào pháo đài. Cổng có mặt tiền chính nổi bật với bốn cột Doric và quốc huy lớn của Bồ Đào Nha cùng các họa tiết trang trí kết hợp giữa yếu tố nghệ thuật và quân sự.

Để lấy thông tin cho mô hình, các nhà nghiên cứu đã đưa ra một loạt các bài thử nghiệm để kiểm tra đặc tính địa lý và đặc tính vật liệu của công trình. Họ đã sử dụng máy quét laser Faro Focus 120 và máy ảnh chụp lại công trình và kết quả thu được là hình ảnh 3D được tạo thành bởi 114,433,234 điểm gọi là đám mây điểm. Để sơ đồ hóa các hư hại, các nhà nghiên cứu sử dụng thuật toán phân tích các cụm đám mây điểm một cách tự động kết hợp với phân tích thủ công trên các hình ảnh hiện trạng giúp tăng độ chuẩn xác.



Hình 1. Các bước thu thập thông tin cho mô hình HBIM

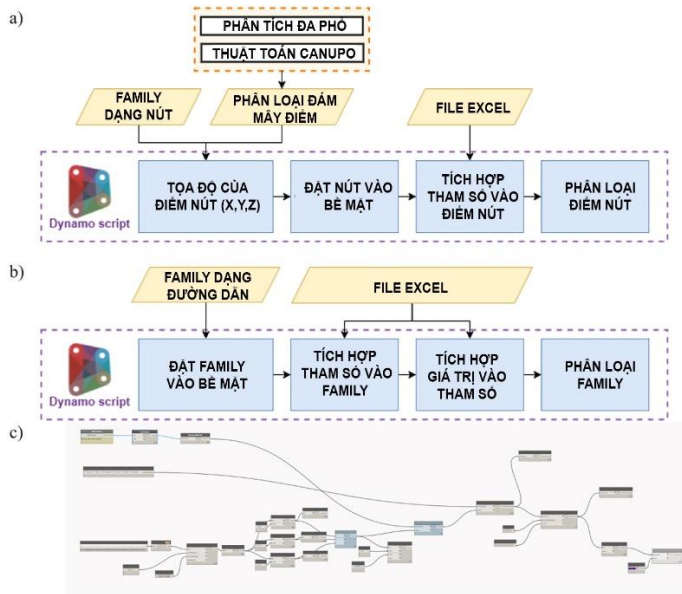


Hình 2. a) Phối cảnh tổng thể chồng đám mây điểm 3D b) Phối cảnh tổng thể c) Mặt cắt 3D

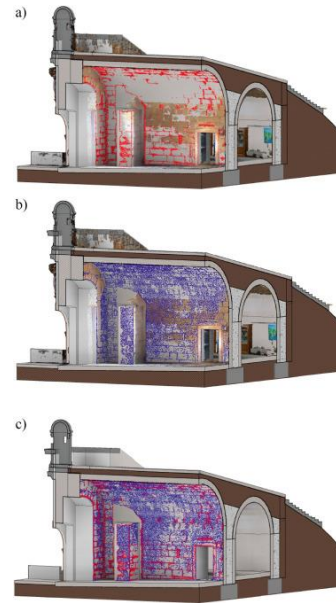
Mô hình BIM sau đó được dựng lại bằng phần mềm Autodesk Revit. Phần lớn các cấu kiện được mô hình hóa thông qua cấu kiện gốc của phần mềm: tường, sàn, mái. Để hoàn thiện mô hình, các cấu kiện được tạo thêm bao gồm cửa, cột, gờ...

Để đưa các thông tin về mức độ hư hại trước đó đã thu thập được vào mô hình, các nhà nghiên cứu sử dụng phần mềm Dynamo làm các thuật toán tự động biến các thông tin đó trở thành 1 cấu kiện dạng đặc biệt trong mô hình Revit. Ngoài các hình ảnh được đưa ra

một cách trực quan, mô hình còn có thể đưa ra các bảng thống kê ghi đầy đủ các thông tin về các hư hại của công trình.



Hình 3. Các thuật toán được phát triển trong Dynamo: a) để tích hợp các hư hại được phát hiện trên các đám mây điểm; b) để tích hợp các hư hại được phát hiện thủ công; và c) Chế độ xem thuật toán bên trong Dynamo.



Hình 4. Kết quả tích hợp dữ liệu hư hại bằng Dynamo: a) hư hại về vật liệu; b) lớp vữa xuống cấp; và c) cả hai.

Nhờ có mô hình BIM và các thuật toán đặc biệt, các nhà nghiên cứu đã có thể sơ đồ hóa mức độ hư hại của di tích một cách vô cùng trực quan và chính xác, hỗ trợ cho các công tác phân tích và bảo tồn về sau.

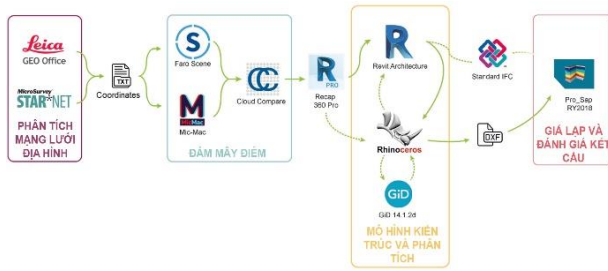
2.2 Ứng dụng HBIM trong việc phân tích kết cấu công trình tại tổ hợp di tích kiến trúc Nazareth, Ý

Các nhà nghiên cứu người Ý Andrea Ursini, Alessandro Grazzini, Francesca Matrone, Marco Zerbinatti trong một nghiên cứu có tên “Từ scan-to-BIM đến mô hình di sản phần tử hữu hạn để mô phỏng tải trọng động của công trình” [3] đã tích hợp các phần mềm dựng hình (Rhinoceros và Revit) cùng với phương pháp phần tử hữu hạn (*Finite Elements Model FEM*, phương pháp số gần đúng để giải các bài toán kỹ thuật) và phần mềm PRO_SAP® (phần mềm phân tích kết cấu chuyên nghiệp) để hỗ trợ cho công tác bảo tồn di sản trên quan điểm kết cấu. Họ lựa chọn tổ hợp kiến trúc Nazareth bao gồm 3 nhà nguyện nhỏ nằm tại khu vực tôn giáo có tên Sacro Monte của Varallo được xây dựng vào cuối thế kỷ 15 ở Valsesia, một thung lũng núi cao ở phía tây bắc nước Ý. Để có thể đánh giá về mặt kết cấu của di tích, các nhà nghiên cứu đã đưa ra một quy trình làm việc (Xem hình 5).

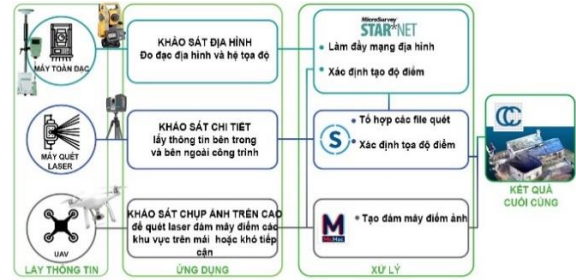
Sau khi đã xử lý thông tin và có được file đám mây điểm, các nhà nghiên cứu bắt đầu tạo dựng lại mô hình H-BIM bằng Revit. Với mục đích chủ yếu là phân tích kết cấu, mô hình BIM tập trung vào việc chi tiết hóa các cấu kiện kết cấu, các cấu kiện kiến trúc được dựng sơ bộ. Do phần mái vòm khá phức tạp để dựng trong Revit nên các nhà nghiên cứu đã dựng bằng phần mềm Rhinoceros và đưa nó vào Revit.

KIẾN TRÚC VÀ QUY HOẠCH BỀN VỮNG

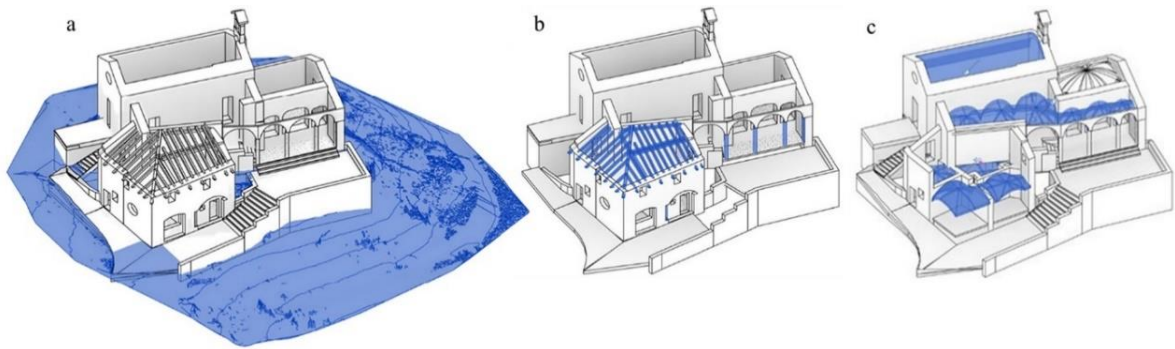
TIẾP NỐI GIÁ TRỊ TRUYỀN THỐNG, HƯỚNG TỚI TƯƠNG LAI



Hình 5a. Quy trình công việc và các phần mềm sử dụng

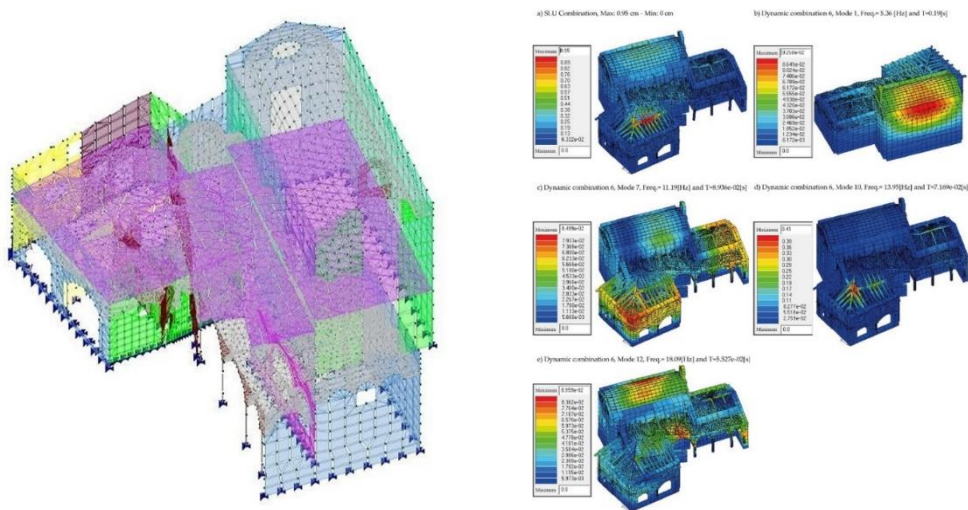


Hình 5b. Các loại máy và phần mềm được sử dụng để tạo dựng thông tin đám mây điểm

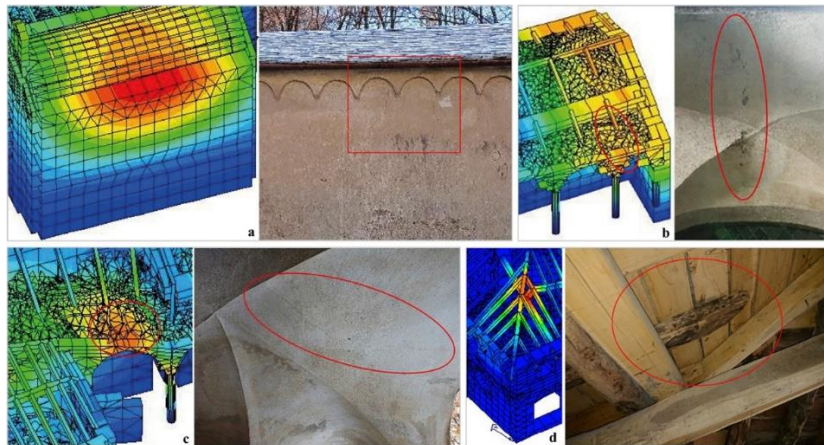


Hình 6. Mô hình Revit với a) Bề mặt địa hình được tạo từ file đám mây điểm b) Cấu kiện kết cấu như dầm và cột c) Mái vòm được đưa vào từ phần mềm Rhinoceros

Tuy nhiên, để phân tích kết cấu bằng mô hình Revit này thì các nhà nghiên cứu cho rằng chưa chuẩn xác do Revit có thể mạnh dựng hình các thiết kế với bộ khung chịu lực phẳng còn công trình này lại có hệ mái chịu lực đa chiều khá phức tạp. Vì vậy, mô hình Revit được đưa lại vào phần mềm Rhinoceros để căn chỉnh chuẩn xác hệ lưới bề mặt rồi được chuyển qua phần mềm PRO SAP® để tính toán về kết cấu.



Hình 7. Mô hình trong phần mềm PRO SAP® và các kết quả thu được về mặt biến dạng



Hình 8. So sánh giữa các mô hình phân tích và thiệt hại trên kết cấu tường ở Nhà nguyện số 2 (vết nứt trên tường và trần).

Các nhà nghiên cứu nhận thấy những tương đồng sau khi so sánh các vị trí điểm yếu về mặt kết cấu giữa mô hình giả lập và thực tế. Điều này cho thấy rằng việc ứng dụng mô hình BIM về mặt kết cấu có thể giúp ích cho việc bảo tồn và lưu giữ kết cấu nguyên bản của các di sản trong tương lai.

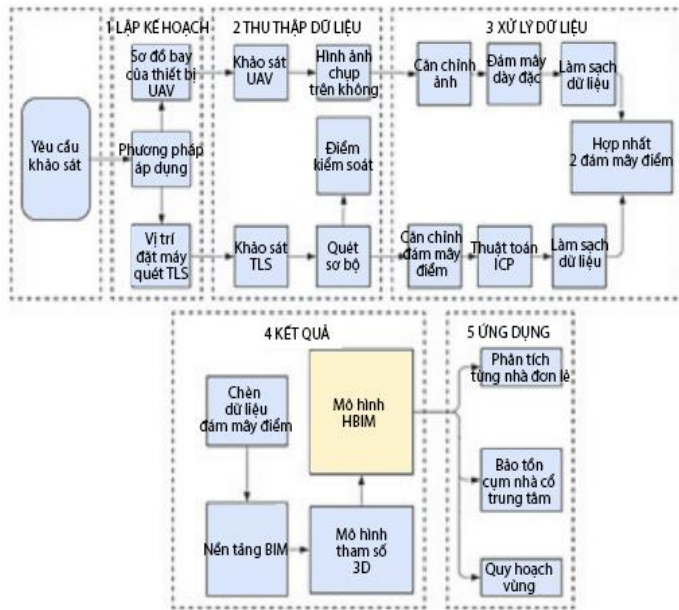
2.3 Mô hình HBIM hỗ trợ quá trình bảo tồn di sản kiến trúc nhà cổ tại làng Hexinwu ở Trung Quốc

Làng Hexinwu nằm ở thị trấn Dahu, Quảng Đông, Trung Quốc, nơi khởi nguồn của văn hóa người Hakka – một bộ phận người Hán cổ ở phía Nam Trung Quốc. Làng Hexinwu được xây dựng trong giai đoạn từ năm 1368-1644 với lịch sử hơn 300 năm, được bao bọc bởi cấu trúc tường gồm hai hình bán nguyệt. Nửa phía trước hình tròn là ao hình lưỡi liềm, nửa còn lại là vòng tròn nhà ở, tượng trưng cho hình rồng cuộn, do đó chúng được gọi là nhà rồng (*dragon house*). Do tác động của đô thị hóa ở Quảng Đông, sự tồn tại của các nhà cổ ở ngôi làng này đang bị đe dọa. Một số nhà ở rìa làng đã bị phá hủy, một số khác bị hư hại một phần và không thể sử dụng được. Khu vực trung tâm của làng có diện tích gần 3000m², vẫn đang được giữ nguyên vẹn và là đối tượng khảo sát trong nghiên cứu. Cụm nhà điển hình cho kiến trúc nhà cổ Trung Quốc. Chính quyền Quảng Đông, Đại học Quảng Châu đang cố gắng khảo sát, ghi chép, bảo vệ và khôi phục ngôi làng truyền thống này [4].

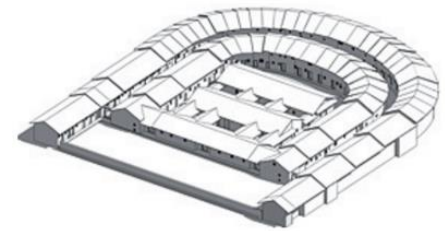
Toàn bộ quá trình nghiên cứu được phân thành 5 bước: i) Xác định phương án khảo sát; ii) TLS (*Terrestrial Laser Scanning*) –quét laser 3D với thiết bị đặt trên mặt đất để quét mặt tiền các ngôi nhà; iii) UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*) –chụp ảnh loại bỏ vật cản (chủ yếu là phần mái nhà) với thiết bị bay không người lái; iv) Dữ liệu thô của 2 phương pháp được xử lý để tạo đám mây điểm (Point cloud) TLS và UVA riêng lẻ; sau đó hợp nhất 2 đám mây điểm, tạo mô hình HBIM của cụm nhà cổ ở trung tâm làng; v) Mô hình HBIM hoàn thiện, sẵn sàng cho các phân tích liên quan đến bảo vệ và khôi phục nhà cổ (Xem hình 9)

Các nhà cổ ở Trung Quốc có đặc điểm là quy mô lớn với cấu trúc phức tạp và nhiều chi tiết. Một nhà cổ có thể bao gồm hàng trăm cho đến hàng nghìn cấu kiện. Mỗi loại cấu kiện tương ứng với một nhóm family (tập hợp các thành phần có liên kết với nhau, tạo thành một đối tượng trong mô hình dự án Revit). Do phong cách kiến trúc và cấu trúc các ngôi nhà trong làng giống nhau nên nguyên tắc phân loại các cấu kiện xây dựng trong dự án này là theo vị trí và hình học. Việc xây dựng những nhóm family phải được hoàn thành trước khi quá trình mô hình hóa BIM bắt đầu. Các tính năng bổ sung có thể được gắn vào các cấu kiện của nhà cổ, như cấu trúc, vật liệu, hình dạng, tình trạng, kích thước, màu sắc... dùng để phục

vụ cho những phân tích kiến trúc sâu hơn sau này. Toàn bộ quy trình lập mô hình BIM của nhà rông được tóm tắt trong hình 10.

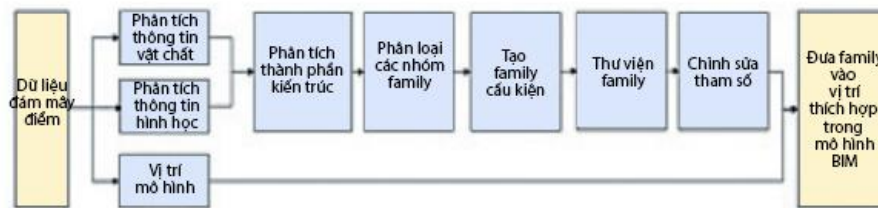


Hình 9b. Ảnh đám mây điểm các phần của mái nhà



Hình 9a. 5 bước trong quy trình làm việc của nghiên cứu tại làng cổ với sự tham gia của HBIM

Hình 9c. Mô hình HBIM hoàn thiện của trung tâm làng Hexinwu



Hình 10. Quy trình lập mô hình HBIM trong nghiên cứu tại làng Hexinwu

Cấu trúc của nhà rông không quá phức tạp. Sử dụng phân tích đám mây điểm, những thành phần kiến trúc của những ngôi nhà Hexinwu được phân làm 4 family, đặt tên là: nền móng, cấu trúc gỗ, những cấu trúc giữ lại và mái. Mỗi cấu kiện đều có thể được xem trong BIM và mã hóa bằng số ID. Sau đó, một thư viện các cấu kiện tham số hóa tương ứng đã được thiết lập. Đám mây điểm cung cấp dữ liệu về hình học chính xác cho các cấu kiện family của ngôi nhà. Ở bước cuối cùng, mỗi family được đưa vào vị trí thích hợp trong mô hình BIM, sử dụng kỹ thuật “hosting”. Mỗi bức tường chính của cấu trúc nhà cổ được coi như một “host”, được đặt vào vị trí của nó trong đám mây điểm.

Mô hình BIM tuân theo nguyên tắc “khả năng tương tác thông tin”. Do đó, bất kỳ ai cũng có thể đọc và chỉnh sửa các định dạng tệp đang mở - IFC (*Industry Foundation Classes*). Như vậy, mô hình các nhà cổ trong làng Hexinwu được thiết lập trong nghiên cứu này có thể dễ dàng chia sẻ với các học giả khác, tạo tiền đề để phân tích và ra quyết định trong quá trình bảo tồn và khôi phục sau này.

2.4 Số hóa công trình nhà hát TP Hồ Chí Minh ứng dụng mô hình HBIM

Nhà hát TP Hồ Chí Minh nằm ở Quận 1 được xây dựng từ năm 1898, là một công trình mang nhiều giá trị về kiến trúc, văn hóa, lịch sử của TP Hồ Chí Minh, nơi chuyên tổ chức biểu diễn sân khấu nghệ thuật và các sự kiện lớn. Nhà hát được xây dựng theo lối kiến trúc

KIẾN TRÚC VÀ QUY HOẠCH BỀN VỮNG

TIẾP NỐI GIÁ TRỊ TRUYỀN THỐNG, HƯỚNG TỚI TƯƠNG LAI

Flamboyant (một dạng của kiến trúc Gothic), với toàn bộ các mẫu trang trí, phù điêu mặt tiền và nội thất được mang từ Pháp sang. Trải qua hơn 100 năm hoạt động, dù đã được trùng tu nhiều lần, song nhà hát đang có nhiều dấu hiệu xuống cấp.

Để lưu giữ toàn bộ kiến trúc đặc sắc của nhà hát cùng các dữ liệu về thông tin khác, cuối năm 2019, dự án số hóa nhà hát TP Hồ Chí Minh với những thiết bị và phần mềm tiên tiến nhất đã được tiến hành thực hiện. Đơn vị thực hiện dự án số hóa đã áp dụng HBIM (quy trình hỗ trợ công tác quản lý, vận hành, bảo tồn và phục hồi nhà hát trong trường hợp bị hư hỏng hoặc phá hủy toàn bộ).

5 bước để thực hiện HBIM trong dự án bao gồm: i) Thu thập dữ liệu; ii) Xử lý dữ liệu; iii) Mô hình hóa 3D; iv) Tích hợp dữ liệu; v) Các ứng dụng trong HBIM

Vì các bản vẽ thiết kế ban đầu của công trình đã bị thất lạc, nên trong bước thu thập dữ liệu cần có 2 bộ dữ liệu từ 2 nguồn khác nhau. Một mặt, dữ liệu không gian của cấu trúc hiện trạng được thu thập bằng các thiết bị trắc địa, máy ảnh, UAV và máy quét laser 3D, mặt khác các tài liệu liên quan đến lịch sử, và kỹ thuật được lấy từ trung tâm lưu trữ quốc gia. Kết quả quét laser thu được là một tập hợp các tọa độ điểm 3D được gọi là đám mây điểm. Các họa tiết, màu sắc cũng được ghi lại thông qua máy ảnh tích hợp sẵn trong máy quét, tự động hợp nhất ảnh chụp với dữ liệu quét. Sau khi xử lý và tối ưu hóa dữ liệu đám mây điểm, thông qua Autodesk Revit, mô hình 3D công trình với các thông số hình học xác định được dựng lại theo đúng hiện trạng, các thông tin phi hình học như màu sắc, vật liệu, hoa văn, nguồn gốc lịch sử văn hóa được tích hợp đồng bộ trên 1 mô hình HBIM đồng nhất [5]. Việc số hóa các công trình kiến trúc tập trung vào 3 phần chính: các chi tiết mặt tiền công trình, các chi tiết kiến trúc đặc trưng của công trình, hệ kết cấu của công trình. Mỗi phần có một yêu cầu riêng về mức độ chi tiết và chính xác khác nhau. Khó khăn chính khi mô hình hóa công trình di sản lịch sử là hình dạng các chi tiết công trình chưa được tiêu chuẩn hóa như các công trình mới hiện nay. Việc tìm kiếm thư viện và công cụ cho phần mềm dựng mô hình thông tin là cần thiết. Bài toán đặt ra là phải xây dựng một thư viện gồm đầy đủ các chi tiết những chi tiết kiến trúc đặc trưng của công trình, bao gồm đầy đủ tham số cho phép mô hình hóa các cấu kiện phức tạp và đặc hữu của công trình di tích. Việc này tốn nhiều công sức và thời gian ban đầu, nhưng cũng là nguồn tài nguyên làm gia tăng sự phong phú cho bộ thư viện HBIM, có thể áp dụng và điều chỉnh cho phù hợp trong các công trình kiến trúc thuộc cùng thời kỳ và phong cách tương tự [5].



Hình 11a. Quét laser 3D phần mặt tiền và mái tại nhà hát

Hình 11b. Hình ảnh đám mây điểm 3D không gian nội thất và một họa tiết sau

khi được quét laser

Đây là một trong những dự án công trình di tích đầu tiên số hóa thành công với mô hình HBIM ở Việt Nam, cho ra kết quả với độ chính xác cao nhất về lưu trữ thông tin công trình. Mô hình HBIM hoàn chỉnh được tạo ra, có thể chia sẻ rộng rãi với nhiều bên liên quan, trong việc tái tạo lại công trình trong trường hợp bị hư hại hoặc biến mất, quản lý việc bảo tồn di tích trong các giai đoạn vận hành và bảo trì, phá dỡ và phục chế. Mô hình cũng có thể được chia sẻ với cộng đồng, ứng dụng trong du lịch số và trải nghiệm.

3 KẾT LUẬN

HBIM là một khái niệm còn khá mới mẻ không chỉ ở Việt Nam mà còn trên thế giới. Trong lĩnh vực di sản, nó có tiềm năng mang lại lợi ích cho nhiều bên liên quan, ở từng giai đoạn khác nhau... Nhiều ví dụ nghiên cứu đã cho thấy ứng dụng và lợi ích của việc sử dụng BIM cho các công trình di sản. Các dữ liệu trong mô hình có thể được truy xuất, tạo sự trao đổi liên ngành giữa các chuyên gia đến từ các ngành khác nhau trong lĩnh vực di sản. Việc sử dụng các kỹ thuật chụp và quét laser 3D đã tạo sự thay đổi đáng kể, đóng góp cho lĩnh vực khảo sát kiến trúc, bảo tồn và phục hồi di sản với khả năng ghi lại hiện trạng công trình một cách hiệu quả, nhanh chóng với độ chính xác rất cao. HBIM cũng có thể ứng dụng trong du lịch số và trải nghiệm, khuyến khích cộng đồng tiếp cận gần hơn với di sản thông qua mô hình được tích hợp rất nhiều nguồn dữ liệu quan trọng.

Sau các nghiên cứu để ứng dụng HBIM vào các công trình di sản, có thể thấy được rằng việc sử dụng BIM không đơn thuần chỉ trên khía cạnh dựng lại các đối tượng hình học mà còn cần phải tích hợp thêm các thông tin về lịch sử và tôn vinh các giá trị nghệ thuật của công trình. Tuy mang lại rất nhiều lợi ích cho cộng đồng nhưng các dự án ứng dụng HBIM vẫn chưa có nhiều. Một số thách thức mà các nhà nghiên cứu gặp phải có thể kể đến như: i) Sự phức tạp về cấu trúc của các công trình di sản; ii) Sự thiếu thốn các thông tin về khía cạnh khác liên quan như lịch sử, nghệ thuật... cần được sự hỗ trợ từ các nhà nghiên cứu đa ngành; iii) Sự khó khăn khi chuyển đổi qua lại giữa các phần mềm (từ phần mềm quét hiện trạng đến các phần mềm dựng hình và tới các phần mềm đánh giá hoặc trình diễn công trình); iv) Các nhân lực thực hiện cần có trình độ chuyên môn cao, có thể sử dụng thành thạo phần mềm, và nắm được kiến thức về kiến trúc và kỹ thuật xây dựng; v) Thời gian thực hiện cho một dự án khá lâu và tốn nhiều kinh phí; vi) Dự án sau đó cần được cập nhật để các thông tin chính xác với thời điểm hiện trạng.

Tuy vẫn còn rất nhiều khó khăn và thách thức khi áp dụng quy trình BIM trong quản lý di sản, nhưng đây có thể coi là hướng đi mới đầy tiềm năng và mang lại rất nhiều lợi ích lâu dài. Việc có những nghiên cứu chuyên sâu về ứng dụng HBIM trong các di sản kiến trúc ở Việt Nam là hết sức cần thiết, đảm bảo việc đưa ra các quyết định chính xác trong quá trình bảo tồn di sản.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Quyết định Thủ Tướng Chính Phủ, số: 258/QĐ-TTg, 2023. Phê duyệt Lộ trình áp dụng Mô hình thông tin công trình (BIM) trong hoạt động xây dựng.
- [2]. Jesús Garcia Gago, Luis Javier Sánchez Aparicio, Mario Soilán và Diego González Aguilera (2022). HBIM for supporting the diagnosis of historical buildings: case study of the Master Gate of San Francisco in Portugal. *Automation in Construction*, Vol. 141.
- [3]. Andrea Ursini, Alessandro Grazzini, Francesca Matrone, Marco Zerbinatti (2022). From scan-to-BIM to a structural finite elements model of built heritage for dynamic simulation. *Automation in Construction*, Vol. 142.

- [4]. Guiye Lin, Andrea Giordano, Kun Sang (2022). From site survey to HBIM for the documentation of historic buildings: The case study of Hexinwu village in China. *Conservation Science in Cultural Heritage*, **Vol. 20**.
- [5]. <https://www.portcoast.com.vn/vi/tin-tuc/mo-hinh-heritage-bim-de-dam-bao-tuong-lai-cua-mot-nha-hat>