

SỰ PHÙ HỢP CỦA MỨC ĐỘ PHÁT TRIỂN MÔ HÌNH THÔNG TIN CÔNG TRÌNH (BIM) ĐỐI VỚI CÔNG TÁC NGHIỆM THU

Đặng Thị Trang^{a,*}, Thạch Ngọc Huyền^b, Lê Hồng Hà^c

^aKhoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường đại học Giao thông vận tải TP. Hồ Chí Minh, số 2 đường Võ Oanh, quận Bình Thạnh, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

^bCông ty cổ phần xây dựng World Steel, số 55 đường Lê Thọ Hòa, quận Tân Phú, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

^cKhoa Xây dựng dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng, số 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 30/9/2020, Sửa xong 18/10/2020, Chấp nhận đăng 27/10/2020

Tóm tắt

Trước khi bắt đầu giai đoạn thi công, nhóm thi công có thể được chuyển giao mô hình thông tin công trình (BIM) từ nhóm thiết kế. Liệu mô hình BIM này có mức độ phát triển (LOD) đủ để hỗ trợ nhà thầu thi công trong việc nghiệm thu trên công trường hay không? Cho đến hiện nay, chưa có công trình nghiên cứu nào đưa ra mối liên hệ, hay sự phù hợp của LOD của các phần tử thuộc mô hình BIM đối với quá trình nghiệm thu trên công trường. Do vậy, nghiên cứu này đã thu thập các bản nghiệm thu thực tế của ba công trình xây dựng nhà cao tầng và phân tích mối liên hệ giữa LOD của các phần tử mô hình và công việc nghiệm thu. Qua việc phân tích, nghiên cứu đã đưa ra kết luận về mức độ phù hợp của mô hình với các LOD khác nhau đối với quá trình nghiệm thu. Nghiên cứu cũng đề xuất các hướng sử dụng mô hình BIM để hỗ trợ cho quá trình nghiệm thu trong trường hợp sự phát triển của mô hình không tương thích hoàn toàn.

Từ khoá: mức độ phát triển LOD; mô hình BIM; công tác nghiệm thu; BIM công trường.

THE SUITABILITY OF THE LEVEL OF DEVELOPMENT OF BUILDING INFORMATION MODEL (BIM) FOR INSPECTION TASKS

Abstract

A BIM model is delivered to contractors prior to the construction phase. Is the level of development (LOD) of this BIM model suitable to support the inspection tasks at construction site? Until now, there have not been any researchers conducting studies on the suitability of LOD of BIM components for inspection tasks. Hence, in this research, the authors collected the inspection check lists of three high-rise building projects in order to analyse the relationships between LOD of BIM elements and the inspection tasks. As a result, some conclusions about the suitability level of models with different LOD for inspection tasks were drawn.

Keywords: level of development (LOD); BIM model; inspection tasks; BIM on site.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14\(5V\)-08](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(5V)-08) © 2020 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Giới thiệu

Building Information Modeling (BIM) được định nghĩa như công nghệ mô hình hóa và bộ các quá trình liên quan đến việc tạo ra, trao đổi, và phân tích các mô hình công trình [1]. Việc ứng dụng BIM hiện nay đang trở thành xu thế tất yếu trong việc phát triển của ngành công nghiệp Xây dựng. Lợi ích của BIM trong thiết kế công trình đã thực sự được chứng tỏ qua nhiều dự án như giảm sai sót trong

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: trang.dang@ut.edu.vn (Trang, Đ. T.)

thiết kế, nâng cao sự tương tác và phối hợp giữa chủ đầu tư và các bên liên quan, giảm thiểu công việc làm lại trên công trường [1]. Sự hỗ trợ của BIM đối với công tác kiểm định, bảo hành và bảo trì cũng thu hút sự quan tâm của các nhà nghiên cứu. McGuire và cs. đã đề xuất mô hình và tiến hành thử nghiệm ứng dụng BIM cho quá trình kiểm tra, đánh giá, và quản lý công trình cầu [2]; Brito và cs. đã kết hợp BIM và thực tế hỗn hợp (Mixed Reality) để hỗ trợ quá trình kiểm định các công trình di sản [3]. Tại Việt Nam, cũng đã có nhiều công trình nghiên cứu về ứng dụng BIM. Gần đây nhất, Phương, và cs. đã đề xuất quy tắc tạo lập mô hình BIM để phù hợp với việc đo bóc khối lượng cho các dự án sử dụng vốn nhà nước tại Việt Nam [4].

Đến thời điểm hiện nay, đã có nhiều nghiên cứu tập trung vào việc ứng dụng BIM để hỗ trợ cho các công tác hàng ngày trên công trường như xuất và quản lý phiếu yêu cầu vật tư [5]; theo dõi và ghi nhận các công việc đang thực hiện hàng ngày trên công trường [6], quản lý an toàn lao động [7]; phát triển mối quan hệ 4D (4DRs) giữa các công tác [7] để tự động hóa quá trình triển khai tiến độ chi tiết [8]; phát hiện và đo lường các xung đột về không gian làm việc của công nhân [9].

Đối với công tác nghiệm thu, một số công cụ BIM thương mại đã xuất hiện trên thị trường để hỗ trợ quá trình này như BIM 360 Field của Autodesk, Dalux Field của Dalux,... Các công cụ này hỗ trợ quá trình kết nối số giữa hồ sơ nghiệm thu và số liệu số của dự án trong đó có mô hình thông tin công trình; sử dụng môi trường dữ liệu chung trên đám mây để kết nối, trao đổi và cập nhật dữ liệu giữa các bên liên quan khi một công tác được nghiệm thu hay có một vấn đề phát sinh cần phải phối hợp giải quyết.

Sacks, và cs. [1] đã dẫn ra một số trường hợp thực tế mà BIM đem lại lợi ích cho các công tác nghiệm thu nói riêng và quản lý chất lượng trên công trường nói chung. Ví dụ như dễ dàng phát hiện sai sót trên thực tế hơn do đã được làm quen với công trình trong môi trường ảo (mô hình BIM); nhanh chóng định vị và khoanh vùng các vị trí nghiệm thu trong mô hình BIM để tìm tài liệu đối chiếu cần thiết gần như tức thời nhờ QR codes hoặc GIS; sử dụng kết hợp thực tế hỗn hợp và BIM để phát hiện các sai lệch giữa cấu kiện thực tế và mô hình ảo.

Trong quá trình nghiệm thu, một câu hỏi đặt ra đó là nếu được quyền truy cập vào mô hình BIM của dự án, và chỉ sử dụng mô hình BIM của dự án cho các thông tin liên quan đến cấu kiện nào đó, kỹ sư nghiệm thu có đủ thông tin để nghiệm thu hay không? Có mối liên hệ nào giữa các mức độ phát triển (Level of Development – LOD) các phần tử của mô hình và mức độ tương thích của nó đối với quá trình nghiệm thu? Để trả lời câu hỏi này, nghiên cứu này đã tiến hành truy cập và phân tích 931 phiếu nghiệm thu với 16918 mục nghiệm thu cho các công tác liên quan đến xây dựng phần thân của ba công trình nhà cao tầng để đưa ra mối quan hệ giữa LOD của mô hình và quá trình nghiệm thu. Bên cạnh đó, nghiên cứu phân tích và đưa ra các hướng dẫn để nhà thầu thi công có thể ứng dụng được mô hình BIM nhằm hỗ trợ quá trình nghiệm thu hiệu quả hơn trong trường hợp mô hình BIM được chuyển giao không tương thích hoàn toàn.

2. Mức độ phát triển của phần tử thông tin công trình

2.1. Khái niệm về LOD

Hiện nay trên thế giới, LOD được sử dụng rất phổ biến để mô tả về mức độ hoàn thiện của các phần tử thuộc mô hình BIM. Các hướng dẫn và quy định về LOD được đề cập đến trong hầu hết các tiêu chuẩn về BIM của các quốc gia [10]. Để mô tả khái niệm này, các nước có thể sử dụng các cụm từ khác nhau như Information Levels ở Hà Lan [11] và Đan Mạch [12]; Level of Development tại Mỹ [13], Đan Mạch [14], Hồng Kông [15], Singapore [16], và Việt Nam [17]; hay Level of Definition tại Anh [18] và Đức [19]. Trong phạm vi bài báo này, LOD sẽ được xem là viết tắt của từ «Level of

Development» và được định nghĩa theo AIA [20] như sau: *LOD tại mức độ nào đó mô tả khối lượng thông tin tối thiểu về kích thước, không gian, định tính, định lượng, và các thông tin khác chứa đựng trong một phần tử mô hình nhằm thỏa mãn khả năng sử dụng được định nghĩa cho mức độ LOD đó.*

Theo định nghĩa này, LOD sẽ quy định về thông tin hình học và phi hình học của phần tử mô hình, chứ không phải cho toàn bộ mô hình. Đây cũng là một điểm đáng lưu ý vì hiện nay, rất nhiều người đề cập đến LOD như một khái niệm sử dụng cho toàn bộ mô hình. Với cách nghĩ như vậy, việc tạo ra, sử dụng và quản lý mô hình BIM thường không hợp lý và hiệu quả. Với mục đích sử dụng cụ thể của khách hàng, các cấu kiện khác nhau có thể được yêu cầu với các LOD khác nhau. Nếu tất cả các cấu kiện được mô hình cùng một LOD hay còn gọi là LOD của mô hình, tình trạng thiếu hoặc thừa thông tin thường sẽ xảy ra. Điều này sẽ gây ra rủi ro và lãng phí cho dự án.

Để mô tả LOD của một phần tử người ta có thể sử dụng một bộ các thang đo khác nhau [21]. Tùy theo nhu cầu mà số thang đo này có thể thay đổi. Ví dụ, trong một bản hướng dẫn LOD khá phổ biến ở Đan Mạch được phát triển bởi Hội các chuyên gia về BIM của sáu công ty xây dựng hàng đầu tại nước này, bộ 3 thang đo bao gồm mức độ thông tin hình học LOG (Level of Geometry), mức độ thông tin phi hình học LOI (Level of Information) và mức độ tin cậy LOR (Level of Reliability) [14] đã được sử dụng.

Trên phạm vi thế giới, hiện nay bộ hướng dẫn LOD do BIMForum phát triển [22] khá phổ biến trong hướng dẫn BIM tại các quốc gia, trong đó có Việt Nam [17]. Do đó trong nghiên cứu này, bộ hướng dẫn LOD của BIMForum cũng được chọn để sử dụng. Ở đây, một bộ hai thang đo được sử dụng để mô tả LOD của phần tử bao gồm thang đo LOG và thang đo LOI.

2.2. Các cấp độ về LOD

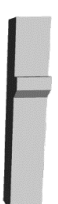
Cấp độ LOD được thể hiện thông qua cách chia thang đo. Hướng dẫn LOD của BIMForum chia thang đo thành 6 cấp bậc tùy theo giai đoạn sử dụng mô hình : LOD 100, LOD 200, LOD 300, LOD 350, LOD 400, và LOD 500. Tuy nhiên, LOD 500 không được đề cập trong hướng dẫn này vì LOD 500 chỉ khác LOD 400 ở chỗ, một phần tử có LOD 500 có nghĩa là thông tin của phần tử ở giai đoạn

Bảng 1. Cấp độ LOD theo BIM Forum 2019 (dựa theo AIA [20] và BIMForum [22])

LOD	Mô tả
100	Các phần tử LOD 100 có thể được thể hiện dưới dạng đối tượng hình học hoặc chỉ là một kí hiệu đính kèm vào các phần tử mô hình khác. Bất kì thông tin nào được dẫn xuất từ LOD 100 chỉ được xem là gần đúng.
200	Các cấu kiện được thể hiện dưới dạng các hệ thống hoặc các phần tử khái quát, gần chính xác về mặt khối lượng, kích thước, hình dạng, vị trí, và hướng. Các thông tin phi hình học cũng có thể được tích hợp vào trong các phần tử của mô hình.
300	Các phần chính của cấu kiện được mô hình cụ thể, chính xác về mặt khối lượng, kích thước, hình dạng, vị trí, và hướng. Các thông tin phi hình học cũng có thể được tích hợp vào trong các phần tử của mô hình.
350	Ngoài các thông tin chính xác được thể hiện ở LOD 300, LOD 350 còn phải thể hiện được phần tiếp xúc/liên kết của cấu kiện này với các cấu kiện, hệ thống khác xung quanh trong công trình.
400	Các cấu kiện được mô hình bằng các phần tử cụ thể, chính xác về mặt khối lượng, kích thước, hình dạng, vị trí, và hướng với đầy đủ thông tin để có thể chế tạo và lắp dựng. Các thông tin phi hình học có thể được tích hợp vào trong các phần tử của mô hình.
500	Các phần tử được mô hình giống hệt với các cấu kiện thực tế với sự chính xác về mặt khối lượng, kích thước, hình dạng, vị trí và hướng. Các thông tin phi hình học cũng có thể được tích hợp vào trong các phần tử của mô hình.

hoàn công (đã được nghiệm thu), còn LOD 400 là thông tin của phần tử ở giai đoạn thiết kế. Chính vì vậy, về mặt hình học hay số lượng thông tin phần tử, LOD 500 không có bước phát triển khác biệt nào so với LOD 400 [22]. Chi tiết về cách chia các cấp độ LOD theo BIM Forum được khái quát như Bảng 1.

Hình 1 trình bày một ví dụ cụ thể về các cấp LOD cho đối tượng cột bê tông theo BIMForum 2019. Mặc dù LOD 500 không được đề cập đến trong hướng dẫn của BIMForum, LOD này vẫn xuất hiện trong hình dưới để có cái nhìn tổng quát và so sánh giữa các cấp độ LOD. Chú ý rằng, hướng dẫn LOD này không phân biệt rạch ròi giữa nội dung của thang đo LOG và LOI và cách chia thang đo của từng loại, tất cả thông tin đều ghi chung trong mô tả về LOD như ở Hình 1.

LOD	Mô tả	Minh họa		
100	Cột chung chung Kích thước và vị trí của cấu kiện chưa xác định chính xác			
200	Kích thước gần đúng Chỉ rõ loại cột: đúc sẵn hay đổ tại chỗ			
300	Kích thước, vị trí của bộ phận chính của cột chính xác Các mặt nghiêng cũng phải được mô hình vào.			
350	Bao gồm các liên kết chính với kích thước, vị trí, hướng chính xác Loại và vị trí của thép căng sau nếu có. Khe co giãn, các vị trí đặt cấu kiện MEP.			
400	Mô hình bao gồm tất cả cốt thép, cả thép căng sau nếu có Lớp hoàn thiện			
500	Thông tin giống LOD 400 nhưng được cập nhật chính xác theo thông tin hoàn công.			

Hình 1. Ví dụ LOD của cột bê tông theo BIMForum 2019 [22]

3. Khảo sát về mối liên hệ giữa LOD và phiếu nghiệm thu

3.1. Mô tả về dữ liệu quan sát và các thuật ngữ sử dụng trong phân tích

Nghiên cứu tiến hành phân tích dựa trên các phiếu nghiệm thu được thu thập từ 3 dự án chung cư cao tầng tại Thành phố Hồ Chí Minh. Các dự án có quy mô 1 hầm và 15 đến 25 tầng nổi; nhóm thực hiện dự án của 3 dự án là hoàn toàn khác nhau. Điều này đảm bảo sự đa dạng của các phiếu nghiệm thu được quan sát. Tại giai đoạn này, nghiên cứu tập trung phân tích các công tác nghiệm thu cho các hạng mục xây dựng phần thân bao gồm các công tác liên quan bê tông, nề, cửa, và hoàn thiện khác.

Tổng số phiếu nghiệm thu thu thập được từ ba dự án cho các hạng mục quan tâm là 46 loại phiếu nghiệm thu, với 838 mục nghiệm thu khác nhau. Tổng khối lượng biên bản tương ứng đã nghiệm thu tại ba dự án trên là 931 phiếu.

Trong suốt quá trình phân tích và quan sát, một số thuật ngữ được sử dụng bao gồm: phiếu nghiệm thu, mục nghiệm thu, đối tượng chính trong phiếu nghiệm thu. Các thuật ngữ này có thể được giải thích ngắn gọn như sau:

Phiếu nghiệm thu: là một biên bản nghiệm thu cho một công tác nào đó trên công trường. Hình 2 thể hiện một ví dụ về phiếu nghiệm thu cho công tác Xây.

Mục nghiệm thu: là một hạng mục con cần nghiệm thu được bao gồm trong phiếu nghiệm thu. Ví dụ, để nghiệm thu Công tác Xây, cần phải thực hiện các mục nghiệm thu như định vị và kích thước; chủng loại gạch; sắt neo trong tường ;... (Hình 2).

Đối tượng chính trong phiếu nghiệm thu: là cấu kiện chính được tạo ra bởi công tác đang được nghiệm thu. Ví dụ, đối với công tác Xây, đối tượng chính sẽ là tường; đối với công tác đổ bê tông cột, đối tượng chính của nó là cột, đối với công tác Thép, đối tượng chính là Cốt thép; đối với công tác Lắp trần, đối tượng chính là trần.

Phiếu nghiệm thu →

Mục nghiệm thu →

DANH MỤC KIỂM TRA CHẤT LƯỢNG (CHECKLIST OF INSPECTIONS) CÔNG TÁC XÂY (BRICKWORK)						
Hạng mục / Item: Công tác Xây tường					Số / No: ACSOHTT_INTCV-KT-001	
Vị trí / Location: Căn hộ Tầng					Ngày / Date:	
Bản vẽ tham chiếu / Drawings no:			Văn bản tham chiếu / Referenced documents:			
Tiêu chuẩn kỹ thuật / Specification:			Đính kèm / Attachments: Bản vẽ Mặt bằng			
Tiêu Chi Kỹ Thuật Của Dự Án / Project Specification						
Stt / No	Các hạng mục nghiệm thu / Inspected items	Phương pháp kiểm tra / Checking method	Kết quả nghiệm thu / Inspection results			Ghi chú / Remarks
			Đạt / Passed	Không đạt / Failed	Không áp dụng / N/A	
1	Các tài liệu cần thiết / The necessary documents					
2	Chi tiết nội dung kiểm tra / Detail of Content					
2.1	Kiểm tra trước khi bắt đầu / Checking prior commencement					
	- Định vị, kích thước / Setting out, dimensions	Kính vĩ, thước đo / Theodolite, measure	☐	☐	☐	
	- Gạch theo mẫu đã duyệt / Brick as approved sample	TKKT, Mắt thường / Spec., Visual	☐	☐	☐	
	- Sắt neo tường / Bonding wall ties	Thước đo, mắt thường / Measure, visual	☐	☐	☐	
	- Cáp phối vữa / Mortar Mix Design	Phê duyệt / Approval	☐	☐	☐	
2.2	Kiểm tra trong khi thi công / Checking during progress					
	- Gạt sạch không tạp chất / Clean sand, without foreign material	Mắt thường / Visual	☐	☐	☐	
	- Gạch sạch, tẩm ẩm trước khi xây / Clean brick, wetted prior installation	Mắt thường / Visual	☐	☐	☐	
	- Mạch vữa đều, đầy / Consistent, full joints	Mắt thường / Visual	☐	☐	☐	

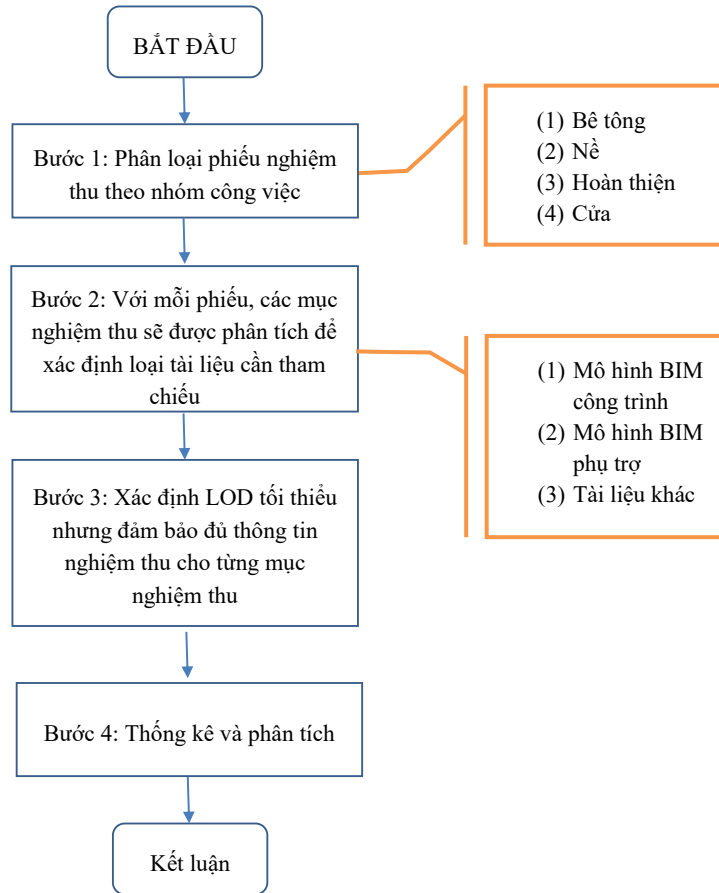
Hình 2. Phiếu nghiệm thu và các mục nghiệm thu trong một mẫu quan sát

Một điểm đáng quan tâm là trong ba dự án này, chỉ có một dự án có mô hình BIM. Mô hình BIM được sử dụng trong dự án với mục đích kiểm tra xung đột và hỗ trợ giai đoạn vận hành bảo trì. Trong giai đoạn thi công, mặc dù được chuyển giao từ đơn vị thiết kế nhưng mô hình BIM đã không được khai thác vào bất kì mục đích gì.

3.2. Cách tiến hành phân tích và kết quả

Quá trình phân tích được trình bày theo sơ đồ ở Hình 3. Đầu tiên, ở bước 1, các phiếu nghiệm thu sẽ được phân nhóm theo 4 loại công việc: (1) nhóm Bê tông gồm các phiếu nghiệm thu liên quan đến công tác thép, ván khuôn, bê tông, cấp dự ứng lực; (2) nhóm Nền gồm các phiếu liên quan xây tường, trát, ốp, lát...; (3) nhóm Hoàn thiện là các nghiệm thu liên quan sơn, lắp trần,...; và (4) nhóm Cửa là các nghiệm thu liên quan đến các loại cửa.

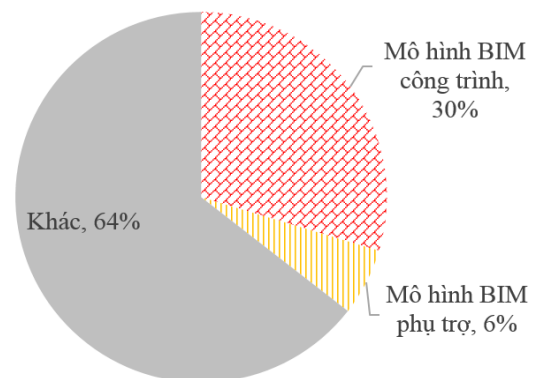
Sau đó, ở bước 2, trong mỗi phiếu, các mục nghiệm thu sẽ được xem xét và xác định loại tài liệu cần tham chiếu. Thực tế cho thấy, rất nhiều thành phần nghiệm thu không liên quan đến mô hình BIM công trình cuối cùng (trong bài báo này gọi là mô hình BIM công trình) của dự án mà nhóm thiết kế chuyển giao. Các mục nghiệm thu liên quan đến các đối tượng phụ trợ như cấp pha, ván khuôn... là các ví dụ điển hình cho trường hợp này. Mô hình cho các đối tượng phụ trợ này được gọi tắt là mô hình BIM phụ trợ. Nếu nhóm thi công muốn có các phần tử của các cấu kiện phụ trợ này, họ sẽ phải



Hình 3. Quá trình phân tích số liệu

tự tạo thêm. Ngoài ra, một số mục nghiệm thu sẽ không liên quan đến cả mô hình BIM công trình cũng như BIM phụ trợ, ví dụ như thông tin về cách trộn vữa xây, hay các chứng chỉ yêu cầu của công nhân tham gia vào quá trình thi công một công tác nào đó.

Qua phân loại, một mục nghiệm thu sẽ có thể được tiến hành bằng cách tham chiếu đến một trong ba loại tài liệu sau: (1) mô hình BIM công trình; (2) mô hình BIM phụ trợ; và (3) tài liệu khác. Các mục nghiệm thu phải được tham khảo qua tài liệu khác mà không phải mô hình BIM sẽ bị loại bỏ trong thống kê. Do vậy trong quan sát này, có 64% trong tổng số 836 loại mục nghiệm thu được thu thập sẽ được loại bỏ khỏi phân tích (Hình 4). Còn lại 297 loại cần được nghiệm thu, tương đương 6.404 mục nghiệm thu từ công trường, được đưa vào xử lý (do một loại thành phần nghiệm thu sẽ được xét đến nhiều lần trên các cấu kiện tại nhiều vị trí khác nhau).



Hình 4. Tỷ lệ các thành phần nghiệm thu tương ứng với loại tài liệu tham chiếu

Tại bước 3, đối với các mục nghiệm thu cần tham chiếu đến mô hình BIM, nghiên cứu sẽ xác định LOD tối thiểu của phần tử đảm bảo đáp ứng đủ thông tin cần thiết để nghiệm thu mục đó. Cuối cùng, ở bước 4, các thống kê và phân tích được tiến hành và kết quả của bước này thể hiện ở mục 3.3.

3.3. Sự phù hợp của LOD với công tác nghiệm thu

Với mục tiêu quan sát và phân tích để tìm hiểu xem với LOD nào thì mô hình BIM có thể được ứng dụng để tăng tính hiệu quả cho quá trình nghiệm thu, phần này sẽ phân tích ba điểm sau: (a) LOD tối thiểu để có thông tin về đối tượng chính trong phiếu nghiệm thu; (b) LOD tối thiểu để một phiếu đủ thông tin nghiệm thu mà không cần tài liệu khác; và (c) LOD tối thiểu để một mục nghiệm thu đủ thông tin đối chiếu từ mô hình BIM. Như đã trình bày ở mục 2.1, nghiên cứu này sử dụng bộ hướng dẫn LOD từ BIMForum [22] để làm thang đo trong quá trình quan sát và phân tích.

a. LOD tối thiểu để có thông tin về các đối tượng chính trong phiếu nghiệm thu

Để trả lời cho câu hỏi: *Để có thể có được các thông tin liên quan đến đối tượng chính của một phiếu nghiệm thu từ mô hình BIM, các cấu kiện tương ứng phải được mô hình tối thiểu LOD bao nhiêu*, nghiên cứu đã thống kê và đưa ra phân tích ở Bảng 2. Màu sắc các ô càng đậm thể hiện mật độ các phiếu tương ứng với LOD này càng cao. Đối với các phiếu nghiệm thu liên quan đến nhóm Bê tông, có 7% các phiếu yêu cầu mô hình với LOD 400, đây là các phiếu nghiệm thu liên quan đến các công tác Thép. Để cốt thép có thể xuất hiện trong mô hình BIM, các đối tượng như cột, dầm, và sàn phải được mô hình với LOD 400. Điều khá đặc biệt là đối với các phiếu nghiệm thu liên quan đến nhóm Cửa, chỉ cần các cấu kiện liên quan mô hình với LOD 200, 100% các phiếu nghiệm thu đều đã có thông tin về đối tượng chính trong mô hình.

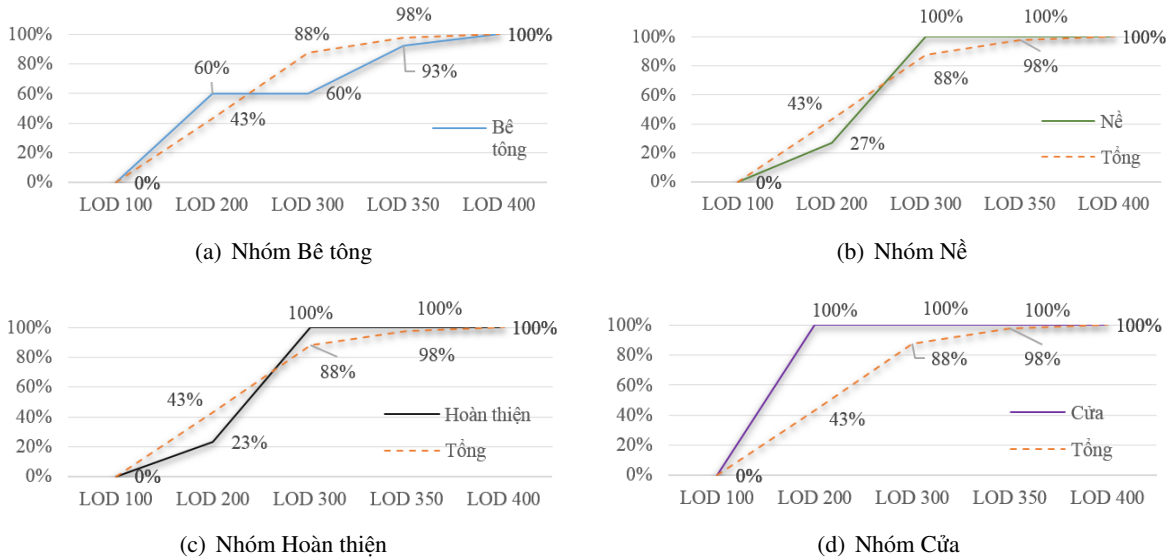
Ngoài ra, trong quan sát này, chỉ có nghiệm thu liên quan đến nhóm Bê tông cần mô hình BIM phụ trợ, đây là các nghiệm thu liên quan đến công tác ván khuôn, giàn giáo. Các nhóm khác trong mô hình, đối tượng nghiệm thu chính đều nằm ở nhóm BIM công trình.

Bảng 2. Mối quan hệ giữa LOD và đối tượng chính trong phiếu nghiệm thu

	LOD	Mô hình BIM công trình					Mô hình BIM phụ trợ				
		100	200	300	350	400	100	200	300	350	400
Bê tông	284		38%		32%	7%		22%			
Nền	262		27%	73%							
Hoàn thiện	292		23%	77%							
Cửa	93		100%								
TỔNG	931		36%	45%	10%	2%		7%			

(Nhóm công tác) (Số phiếu)

Hình 5 trình bày các đường cong mô tả tỉ lệ phần trăm các đối tượng chính của phiếu nghiệm thu được mô hình trong mô hình BIM với các LOD khác nhau. Đường cong này thực tế là đường cong tích lũy từ số liệu có được ở Bảng 2. Ta có thể thấy rằng, đối tượng chính của hầu hết các nhóm nghiệm thu đều được thể hiện ở mô hình BIM với LOD từ 300 trở xuống, trừ nhóm Bê tông. Đặc biệt là nhóm cửa, 100% các đối tượng chính của phiếu nghiệm thu đều xuất hiện trong mô hình khi các phần tử tương ứng được mô hình với LOD 200.



Hình 5. Phần trăm các phiếu có thể tham chiếu đến đối tượng chính cần nghiệm thu từ mô hình BIM với các LOD khác nhau

b. LOD tối thiểu để một phiếu đủ thông tin nghiệm thu

Để trả lời cho câu hỏi: với LOD tối thiểu của phần tử là bao nhiêu thì tất cả các mục cần nghiệm thu trong một phiếu đủ thông tin để tham chiếu, nghiên cứu đã thống kê và đưa ra tỉ lệ % các phiếu nghiệm thu tương ứng với từng mức LOD tối thiểu ở Bảng 3. Màu sắc các ô thống kê càng đậm thể hiện mật độ các phiếu yêu cầu LOD tối thiểu ở mức này tương ứng càng cao.

Bảng 3. Tỉ lệ % phiếu nghiệm thu tương ứng với các mức LOD được yêu cầu

	LOD	Mô hình BIM sản phẩm					Mô hình BIM phụ trợ				
		100	200	300	350	400	100	200	300	350	400
Bê tông	284			11%	19%	44%			11%	56%	
Nền	262			13%	26%	56%				49%	
Hoàn thiện	292			4%	49%	46%				39%	
Cửa	93					100%					
TỔNG	931		8%	28%	58%			3%	43%		

(Nhóm công tác) (Số phiếu)

Khi nhìn vào bảng thống kê này, tổng tỉ lệ phần trăm của các phiếu tương ứng với các LOD ở hai mô hình BIM, công trình và phụ trợ, có thể lớn hơn 1. Nguyên nhân là do trong một phiếu nghiệm thu, có thành phần yêu cầu thông tin từ mô hình BIM công trình, có thành phần lại yêu cầu thông tin từ mô hình BIM phụ trợ nên một phiếu có thể phải tham chiếu đến hai mô hình BIM khác nhau.

Qua thống kê, hầu hết các phiếu thuộc các nhóm đều yêu cầu LOD 400 đối với mô hình BIM công trình và (hoặc) LOD 350 đối với các mô hình BIM phụ trợ. Nếu xét tổng thể cho toàn bộ hạng mục xây dựng phần thân, chưa đến 40% các phiếu nghiệm thu có đủ thông tin từ mô hình BIM nếu

tất cả các phần tử của mô hình BIM sản phẩm đều được mô hình với LOD 350; và chỉ có khoảng 8% số phiếu nghiệm thu của dự án có đầy đủ thông tin từ mô hình BIM trong trường hợp LOD 300.

Tuy nhiên con số này cũng có thay đổi nhỏ tùy thuộc vào từng nhóm. Đối với nhóm hoàn thiện, có đến 49% số phiếu được tham chiếu đầy đủ đến mô hình BIM công trình nếu tất cả các phần tử được mô hình với LOD 350, nhưng từ LOD 300 trở xuống thì không có phiếu nghiệm thu nào có thể tham chiếu hoàn toàn từ mô hình BIM. Đặc biệt là các nghiệm thu liên quan đến các loại cửa, 100% các phiếu nghiệm thu đều có ít nhất một thành phần cần tham chiếu đến LOD 400 của mô hình BIM công trình.

c. LOD tối thiểu để một mục nghiệm thu đủ thông tin đối chiếu

Trong mỗi phiếu nghiệm thu, có rất nhiều mục cần được kiểm tra. Đối với các dự án và hạng mục công việc được nghiên cứu trong bài báo này, mỗi phiếu thường có từ 15 đến hơn 20 mục con. Có một câu hỏi đặt ra: *nếu các cấu kiện được mô hình với LOD nào đó, thì có bao nhiêu % khối lượng công việc nghiệm thu có thể tham chiếu hoàn toàn từ mô hình BIM?* Câu trả lời được thể hiện ở Bảng 4 về nhu cầu LOD tối thiểu của các thành phần nghiệm thu. Các ô được tô màu càng đậm chứng tỏ mật độ của các mục nghiệm thu con yêu cầu mức tối thiểu tại LOD này càng cao.

Bảng 4. Tỷ lệ % thành phần nghiệm thu tương ứng với các mức LOD được yêu cầu

	LOD	Mô hình BIM công trình					Mô hình BIM phụ trợ				
		100	200	300	350	400	100	200	300	350	400
Bê tông	2289		1%	8%	25%	30%		3%	7%	27%	
Nền	1278		9%	39%	15%	25%			2%	10%	
Hoàn thiện	1578		4%	30%	41%	18%				7%	
Cửa	1259		14%	35%	23%	29%					
TỔNG	6404		6%	25%	26%	26%		1%	3%	13%	

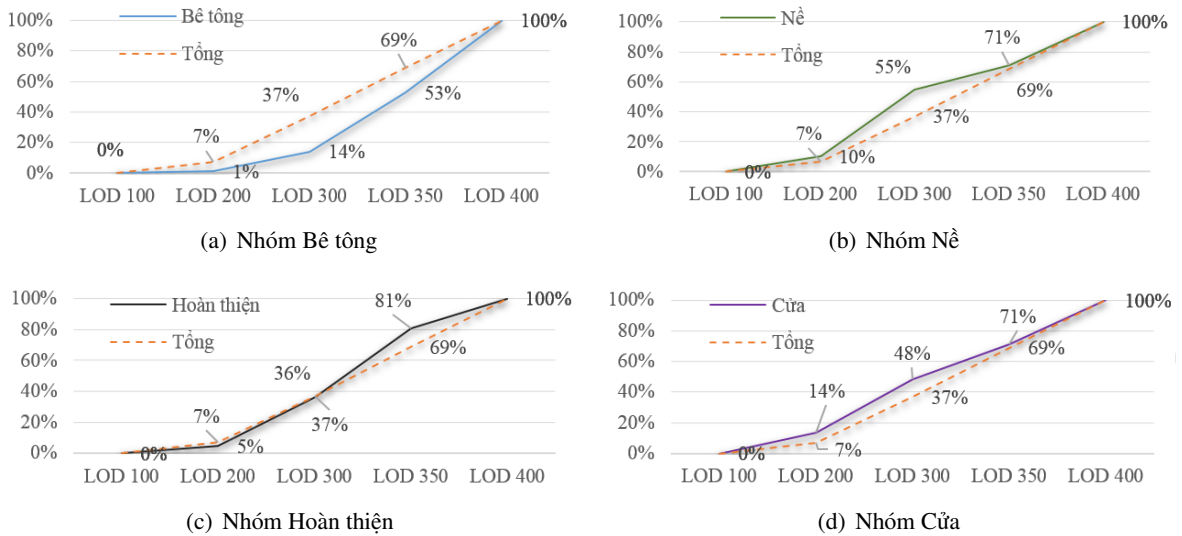
(Nhóm công tác) (Số mục)

Nếu xét về tổng thể, chưa đến 20% các mục công việc nghiệm thu yêu cầu mô hình BIM phụ trợ. Con số này cao nhất thuộc về các nghiệm thu thuộc nhóm Bê tông, chiếm gần 40%. Còn các nhóm khác đều khoảng trên dưới 10%. Như vậy có thể thấy, mô hình BIM của các cấu kiện tạm cho công tác phụ trợ đối với việc nghiệm thu nhóm Bê tông là khá quan trọng, nếu muốn tự động hóa hoặc sử dụng hiệu quả mô hình số cho quá trình nghiệm thu các công tác nhóm này, nhà thầu thi công nên bổ sung mô hình BIM phụ trợ.

Xét về mô hình BIM công trình, các nghiệm thu thuộc nhóm Bê tông yêu cầu LOD cao nhất, chủ yếu tập trung ở LOD 350 và LOD 400; nhóm Nền tập trung nhiều nhất ở LOD 300; nhóm Hoàn thiện yêu cầu LOD 300 và 350; còn nhóm cửa phân bố khá đều từ LOD 300 đến LOD 400. Hình 6 mô tả chi tiết % khối lượng công việc nghiệm thu (chỉ xét các mục liên quan đến mô hình BIM công trình) có thể tham chiếu hoàn toàn từ mô hình BIM. Rõ ràng từ biểu đồ tích lũy này, LOD 200 hầu như không đáp ứng được nhu cầu thông tin cho công tác nghiệm thu cho bất cứ nhóm công việc nào. Nhóm Bê tông đòi hỏi LOD khá cao và nhóm Nền tỏ ra hiệu quả nhất khi sử dụng mô hình BIM với các phần tử có LOD 300.

Qua so sánh Hình 6 và Bảng 3, có thể dễ dàng nhận thấy có sự khác biệt khi nhìn nhận vấn đề dưới góc nhìn khác nhau. Ví dụ, để thỏa mãn tất cả các phiếu nghiệm thu thuộc nhóm Cửa thì các phần tử liên quan đều phải có LOD không được dưới LOD 400 (Bảng 3), tuy nhiên khi xét chi tiết hơn, nếu

các phần tử được mô hình với LOD 350, thì cũng có đến hơn 70% khối lượng công việc nghiệm thu thuộc nhóm Cửa đã có thể tham chiếu hoàn toàn từ mô hình BIM (Hình 6).



Hình 6. Phần trăm khối lượng nghiệm thu (chỉ xét các thành phần liên quan mô hình BIM công trình) có thể tham chiếu hoàn toàn từ mô hình BIM đối với các mức LOD khác nhau

4. Mối liên hệ giữa LOD và quy trình nghiệm thu

Qua thống kê và phân tích ở mục 3.3, nếu để tất cả các thành phần của quá trình nghiệm thu có thể tham chiếu từ mô hình BIM, hầu hết tất cả các phần tử phải được mô hình với LOD 350 hoặc LOD 400, còn các cấu kiện tạm cho các công tác phụ trợ phải được mô hình với LOD 350. Tuy nhiên, điều này không có nghĩa là mô hình BIM với LOD thấp hơn sẽ không có ý nghĩa đối với quá trình nghiệm thu. Phần này sẽ phân tích sự phù hợp của LOD và quy trình nghiệm thu.

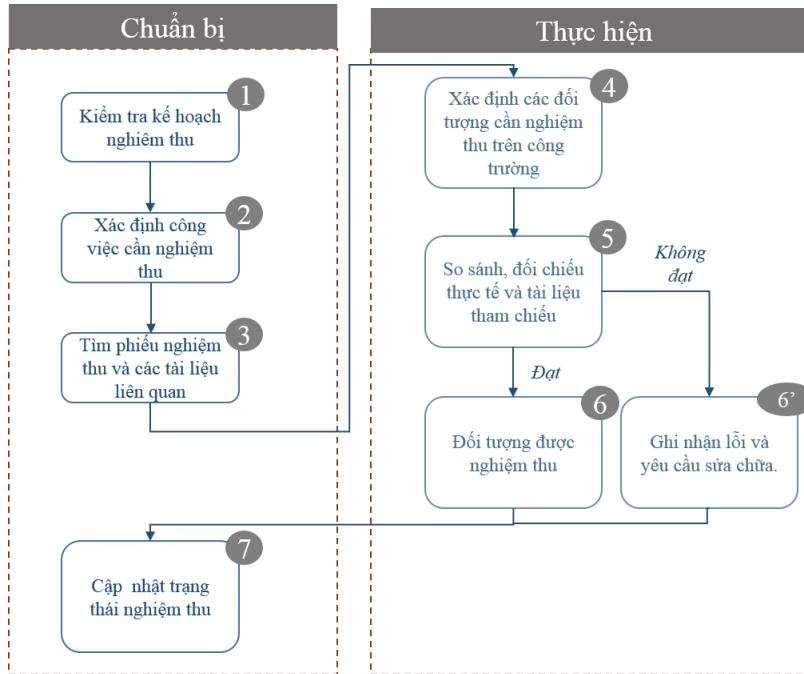
4.1. Quy trình nghiệm thu

Quy trình nghiệm thu một công việc nào đó có thể tóm tắt thành 7 bước như mô tả ở Hình 7. Các bước trong quy trình này có thể chia ra làm 2 loại: các công việc liên quan đến chuẩn bị, cập nhật các tài liệu, trong bài báo này gọi là các bước Chuẩn bị; và các công việc tiến hành nghiệm thu trực tiếp hay kiểm soát chất lượng trên công trường, trong bài báo này gọi là các bước Thực hiện.

4.2. Sự phù hợp của LOD với quy trình nghiệm thu

a. Bước 1: Kiểm tra kế hoạch nghiệm thu

Kế hoạch nghiệm thu là sự kết hợp của kế hoạch thời gian dự án và các tài liệu chuẩn bị cho quá trình nghiệm thu. Bước 2 và bước 3 trong quy trình nghiệm thu (Hình 7) được thực hiện dựa vào kế hoạch nghiệm thu này. LOD phù hợp cho kế hoạch nghiệm thu, do đó, sẽ là LOD phù hợp cho các công việc ở bước 2 và bước 3 được trình bày tương ứng ở mục b và c dưới đây.



Hình 7. Quy trình nghiệm thu

b. Bước 2: Xác định công việc cần nghiệm thu

Xác định công việc cần nghiệm thu được thực hiện dựa trên kế hoạch về thời gian của dự án, biết được công việc nào chuẩn bị tiến hành, đang tiến hành hoặc đã hoàn thành xong. BIM 4D sẽ là công cụ hiệu quả cho giai đoạn này. Với các thuộc tính cần nghiệm thu tương ứng trước hay sau khi đã thi công xong, việc sàng lọc danh sách hay trực quan các đối tượng cần nghiệm thu qua màu sắc sẽ giúp công việc này được triển khai nhanh chóng và không bị bỏ sót.

Qua phân tích ở Hình 5, gần 90% các đối tượng chính cần nghiệm thu của các phiếu sẽ xuất hiện ở LOD 300. Nên mức LOD này sẽ được kiến nghị cho hầu hết các đối tượng. Đặc biệt, đối với nhóm Cửa, LOD 200 là đã có thể thỏa mãn ở giai đoạn này.

Tuy nhiên, đối với nhóm Bê tông, chỉ 60% các phiếu nghiệm thu có đối tượng chính xuất hiện ở LOD 300, nếu các đối tượng nhóm Bê tông được mô hình ở LOD cao hơn để có đủ thông tin thì đó sẽ là phương án tốt nhất. Trong trường hợp chỉ có LOD 300 thậm chí là LOD 200, thì việc sử dụng mô hình BIM 4D cũng có thể khả thi bằng cách kết nối với vật chủ của đối tượng. Ví dụ các nghiệm thu cốt thép đối với nhóm này yêu cầu LOD 400 đối với đối tượng cột, dầm, sàn. Vậy thay vì có thể liên kết với đối tượng chính của nghiệm thu là Cốt thép, một liên kết với đối tượng vật chủ là cột, dầm, hay sàn sẽ được thay thế với một số thuộc tính đặc biệt được thêm vào, các thuộc tính này có thể sẽ được thể hiện trực quan qua màu sắc đối tượng.

Nói tóm lại, ở giai đoạn này, phương án tối ưu về tài chính nhất là LOD 200 cho các công tác nhóm Bê tông và Cửa, các nhóm còn lại nên sử dụng LOD 300. Còn phương án tối ưu về thông tin công trình, nhóm Bê tông nên được mô hình với LOD 350 hoặc LOD 400.

c. Bước 3: Xác định tài liệu liên quan

Xác định các tài liệu liên quan có thể rất mất thời gian nếu không tổ chức tốt. BIM có thể giúp việc tổ chức tài liệu theo hướng đối tượng nghiệm thu một cách hiệu quả, từ đó việc tìm các phiếu

nghiệm thu hay tài liệu liên quan sẽ dễ dàng hơn rất nhiều.

Để tổ chức được thông tin, các đối tượng trong mô hình có thể tạo thêm các tham số để dẫn tới các đường link của các tài liệu. Việc gán tài liệu này có thể làm một lần ở giai đoạn chuẩn bị và lên kế hoạch. Việc hệ thống này sẽ giúp quá trình tìm kiếm thông tin hiệu quả và nhanh chóng hơn khi cần nghiệm thu bất cứ đối tượng nào sau này. Chú ý rằng, các tài liệu này không chỉ là phiếu nghiệm thu và hướng dẫn kỹ thuật, nó còn là các bản vẽ 2D chi tiết liên quan cần tham chiếu trong quá trình nghiệm thu.

Đối tượng để gán phiếu nghiệm thu và các tài liệu khác liên quan sẽ là đối tượng chính cần nghiệm thu mà phiếu đề cập. Do vậy, LOD của các nhóm nghiệm thu ở phần này cũng sẽ giống với ở bước 2 được trình bày ở mục b phần này.

d. Bước 4: Xác định các đối tượng cần nghiệm thu trên công trường

Trên công trường, để xác định các đối tượng cần nghiệm thu có thể tham khảo ở mô hình BIM được thực hiện ở bước 2, từ đó đối chiếu với vị trí công trường để xác định chính xác đối tượng thực tế. Do vậy LOD cần thiết cho các nhóm đối tượng cũng giống như yêu cầu được trình bày ở mục b phần này.

Trường hợp mong muốn sử dụng hệ thống định vị toàn cầu GIS để tương tác giữa vật thể thực và vật thể ảo trong mô hình, thì cần điều chỉnh một chút các yêu cầu về LOD. Đối với trường hợp này, các LOD 200 ở phân tích trên sẽ được thay thế bởi LOD 300. Nguyên nhân cho sự điều chỉnh này là do LOD 200 không đòi hỏi vị trí các phần tử chính xác, vị trí chính xác sẽ được thỏa mãn khi các phần tử được mô hình với LOD 300 trở lên. Tuy nhiên, nếu dự án sử dụng QR codes để hỗ trợ tương tác này như phần lớn các dự án hiện nay áp dụng, sự điều chỉnh yêu cầu LOD như trên là không cần thiết.

e. Bước 5: Đối chiếu sản phẩm và thiết kế

Khi có đầy đủ thông tin giữa thực tế và thiết kế, việc so sánh sẽ được tiến hành trên công trường. Đối với quá trình kiểm tra sản phẩm một cách thủ công, các yêu cầu về LOD không đòi hỏi thêm gì so với phân tích ở mục b và mục d phần này. Tuy nhiên, mô hình có LOD càng cao thì đối chiếu thực và ảo sẽ càng trực quan và dễ dàng nhận ra các sai sót bề mặt. Cũng lưu ý rằng, với LOD 300 thì hầu hết các sai sót bề mặt lớn đều có thể nhận ra dễ dàng khi so sánh cấu kiện thực và phần tử ảo.

Trường hợp dự án muốn sử dụng thiết bị thực tế hỗn hợp MR hoặc công nghệ quét 3D để tự động hóa quá trình kiểm tra về mặt hình học, các yêu cầu về LOD của các phần tử thuộc mô hình BIM công trình nên có LOD 350 hoặc LOD 400 (tùy thuộc từng loại đối tượng) và các phần tử thuộc mô hình BIM cho các công việc phụ trợ nên có LOD 350 như phân tích ở Bảng 3. Nếu các phần tử không được mô hình với LOD tương thích, thành phần công tác được tự động hóa nghiệm thu thành công sẽ giảm đi như thống kê ở Hình 6.

f. Bước 6 và 6': Quyết định kết quả nghiệm thu

Quyết định kết quả nghiệm thu dựa vào kết quả quan sát ở bước 5. Giai đoạn này là việc ra quyết định dựa trên toàn bộ quá trình từ đầu đến cuối.

g. Bước 7: Cập nhật trạng thái nghiệm thu

Trạng thái nghiệm thu chỉ là một thuộc tính của đối tượng được nghiệm thu. Do vậy LOD yêu cầu cho giai đoạn này cũng giống như yêu cầu cho giai đoạn 2 và 3.

h. Yêu cầu LOD cho quá trình nghiệm thu

Qua các phân tích ở trên, ta có thể thấy rằng để quá trình Thực hiện nghiệm thu trên công trường được tự động hóa và nhanh chóng, chính xác, các phần tử nên được mô hình với LOD chi tiết, phần lớn yêu cầu LOD 350 và LOD 400. Đây là mức LOD cao, đòi hỏi chi phí cho việc mô hình và quản lý lớn. Trên thực tế, hầu hết chủ đầu tư không có nhu cầu mô hình BIM chi tiết như vậy để sử dụng cho mục đích vận hành và bảo trì, đơn vị thiết kế cũng không cần mô hình với mức độ chi tiết cao như vậy cho mục đích phối hợp và kiểm tra va chạm. Do vậy, nhà thầu thi công phải tự bỏ chi phí để phát triển thêm mô hình nếu muốn có một mô hình hoàn hảo cho quá trình nghiệm thu.

Tuy nhiên, để hỗ trợ các bước Chuẩn bị cho việc nghiệm thu, một công việc cực kì quan trọng và chiếm nhiều thời gian nếu không sắp xếp tốt và hợp lý, thì LOD của các phần tử chỉ cần ở mức LOD 200 hoặc LOD 300 là đủ (như đã phân tích ở Bước 2, 3 và Bước 7). Ngoài ra, nếu dự án chưa sử dụng các công nghệ mới nhằm tự động hóa các bước Thực hiện nghiệm thu trên công trường như thiết bị thực tế hỗn hợp MR, GIS, hay máy quét 3D, thì LOD 300 là mức độ phát triển của các phần tử hợp lý để hỗ trợ tốt các bước Thực hiện nghiệm thu này.

5. Kết luận

Bài báo đã nghiên cứu sự phù hợp giữa LOD và quá trình nghiệm thu trong các dự án nhà cao tầng. Qua quan sát, phân tích các phiếu nghiệm thu và quy trình nghiệm thu cho các hạng mục xây dựng tại ba dự án nhà cao tầng ta thấy rằng, để mô hình BIM tương thích hoàn toàn quá trình nghiệm thu, tức là mọi mục nghiệm thu đều có thể tham chiếu thông tin trực tiếp từ mô hình BIM, thì hầu hết các phần tử của mô hình đều yêu cầu LOD 350 hoặc LOD 400. Với mức độ phát triển của các phần tử trong mô hình cao như vậy, việc tự động hóa quá trình nghiệm thu với sự trợ giúp của các công nghệ hiện đại như thiết bị thực tế hỗn hợp, máy quét 3D, hay hệ thống định vị toàn cầu GIS là hoàn toàn khả thi.

Tuy nhiên, để hỗ trợ các bước Chuẩn bị cho quá trình nghiệm thu như tổ chức cơ sở dữ liệu, lên kế hoạch nghiệm thu và kiểm soát quá trình nghiệm thu tốt, mức độ phát triển của phần lớn các phần tử mô hình chỉ cần LOD 200 hoặc LOD 300. Ngoài ra, để hỗ trợ quá trình Thực hiện việc nghiệm thu hay còn gọi là kiểm soát chất lượng trên công trường, hầu hết các cấu kiện chỉ cần mô hình với LOD 300. Với LOD này, hầu hết các khuyết tật bề mặt lớn có thể phát hiện bằng mắt thường khi so sánh phần tử ảo và cấu kiện thực tế.

Ngoài ra, các quan sát này cũng cho thấy một thực tế rằng, để đảm bảo sự tương thích giữa LOD và các giai đoạn khác nhau trong quá trình nghiệm thu, các nhóm công việc khác nhau sẽ đòi hỏi các cấp độ LOD khác nhau. Do giới hạn nghiên cứu sơ bộ, nên việc quan sát đang thực hiện trên quy mô nhỏ, đối tượng hạn chế. Để có thể đưa ra hướng dẫn về các LOD tương thích cho các loại công việc đa dạng trong môi trường xây dựng, một nghiên cứu rộng hơn nên được thực hiện.

Tài liệu tham khảo

- [1] Rafael, S., Eastman, C., Lee, G., Paul, T. (2018). *A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers, Third*. 3rd edition, Wiley, Hoboken, New Jersey.
- [2] McGuire, B., Atadero, R., Clevenger, C., Ozbek, M. (2016). [Bridge information modeling for inspection and evaluation](#). *Journal of Bridge Engineering*, 21(4):04015076.
- [3] Brito, C., Alves, N., Magalhães, L., Guevara, M. (2019). BIM mixed reality tool for the inspection of heritage buildings. *Proc. of ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Asvila, Spain, 25–29.

- [4] Phương, L. Q., Quân, N. T. (2020). Đề xuất quy tắc tạo lập mô hình BIM phục vụ việc tự động hóa đo bóc khối lượng trong các dự án xây dựng sử dụng vốn nhà nước tại Việt Nam. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD)-ĐH XD*, 14(4V):118–129.
- [5] Song, M. H., Fischer, M., Theis, P. (2017). Field study on the connection between BIM and daily work orders. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(5):06016007.
- [6] Park, J., Kim, K., Cho, Y. K. (2017). Framework of automated construction-safety monitoring using cloud-enabled BIM and BLE mobile tracking sensors. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(2):05016019.
- [7] Dang, T., Bargstädt, H.-J. (2016). 4D relationships: The missing link in 4D scheduling. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(2):04015072.
- [8] Dang, T. (2014). *Automated Detailing of 4D Schedules*. Luận án Tiến sĩ, Bauhaus University Weimar.
- [9] Mirzaei, A., Nasirzadeh, F., Parchami Jalal, M., Zamani, Y. (2018). 4D-BIM dynamic time-space conflict detection and quantification system for building construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(7):04018056.
- [10] Dang, T. (2020). Thế giới LOD - Mức độ phát triển của mô hình thông tin công trình. *Tạp chí Xây dựng Việt Nam*, 59(8):55–59.
- [11] Van Berlo, L., Bomhof, F. (2014). Creating the Dutch national BIM levels of development. *Computing in Civil and Building Engineering*, 955–965.
- [12] Cuneco (2014). *CCS Identifikation (R3)*.
- [13] AIA (2008). Document E202–2008 Building Information Modeling Protocol Exhibit. *American Institute of Architects*, 1–9.
- [14] DiKon (2018). *Specification of Building Parts - for selected building parts in building models*.
- [15] CIC Hong Kong (2019). *CIC BIM Standards - General*.
- [16] BCA Singapore (2013). *Singapore BIM Guide version 2*.
- [17] BXD (2017). *Quyết định 1057-QĐ-BXD HD tạm thời áp dụng BIM trong gd thí điểm*.
- [18] AEC (UK) (2015). *AEC (UK) BIM Technology Protocol*.
- [19] VDI (2018). *Part 3: Building information modeling Model-based quantity determination for budgeting, time scheduling, contracting, and accounting*.
- [20] AIA (2013). *Digital Practice Documents - Guide, Instructions and Commentary*.
- [21] BSI (2018). *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) - Information management using building information modelling, Part 1: Concepts and principles*.
- [22] BIMForum (2019). *Level of development (lod) specification part i & commentary*.