



ỨNG DỤNG BIM ĐỂ MÔ PHỎNG LƯỢNG NHIỆT BỨC XẠ MẶT TRỜI TÁC ĐỘNG LÊN MỘT TÒA NHÀ VĂN PHÒNG Ở THÀNH PHỐ HÀ NỘI

Nguyễn Đức Lượng^{1*}, Trần Thị Việt Nga², Nguyễn Hoàng Hiệp³,
Hoàng Minh Giang¹, Nguyễn Bình Minh⁴

Tóm tắt: Mục tiêu chính của bài báo này là ứng dụng mô hình thông tin công trình (BIM) để mô phỏng và sơ bộ đánh giá tác động của lượng nhiệt bức xạ mặt trời lên các kết cấu bao che của tòa nhà văn phòng Technosoft ở thành phố Hà Nội trong năm 2010. Nghiên cứu đã sử dụng các số liệu quan trắc lượng nhiệt bức xạ mặt trời trong nhiều năm tại trạm khí tượng Láng, Hà Nội để so sánh với các kết quả mô phỏng của BIM. Các kết quả mô phỏng xu hướng diễn biến của lượng nhiệt bức xạ mặt trời tác động lên tòa nhà Technosoft theo các tháng và các hướng (Đông, Tây, Bắc, Nam) trong năm 2010 khá tương đồng với các số liệu quan trắc của trạm khí tượng Láng. Kết quả của nghiên cứu này cho thấy tiềm năng ứng dụng của BIM trong mô phỏng và đánh giá tác động của lượng nhiệt bức xạ mặt trời lên các công trình xây dựng dân dụng ở Việt Nam, làm cơ sở để xây dựng các giải pháp thiết kế và vận hành công trình một cách phù hợp, góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng và tiết kiệm năng lượng trong các công trình.

Từ khóa: Mô hình thông tin công trình (BIM); mô phỏng; nhiệt bức xạ mặt trời.

Application of BIM for simulating impact of solar radiation heat to a office building in Hanoi city

Abstract: The major objective of this study was to apply Building Information Modeling (BIM) for simulating and evaluating solar radiation heat to envelopes of Technosoft office building in Hanoi in 2010. The long-term monitored data of solar radiation at Lang meteorological station in Hanoi was used to compare with the results simulated by BIM. The simulated results for variation trend of solar radiation heat to Technosoft building for different months and directions (East, West, North, South) in 2010 were similar to the monitored data of Lang meteorological station. The findings of this study imply the potential for application of BIM in simulating and evaluating impact of solar radiation heat to buildings in Vietnam, as the basis for developing the proper designing and operating solutions for buildings, contributing to enhance building energy efficiency and energy saving.

Keywords: Building Information Modeling (BIM); simulation; solar radiation heat.

Nhận ngày 15/12/2017; sửa xong 29/12/2017; chấp nhận đăng 16/01/2018

Received: December 15th, 2017; revised: December 29th, 2017; accepted: January 16th, 2018



1. Mở đầu

Mô hình thông tin công trình (tên tiếng Anh: Building Information Modeling - BIM) là quá trình tích hợp các hợp phần chủ chốt của dự án trước khi triển khai, giúp dự án được triển khai nhanh, tiết kiệm về mặt kinh tế cũng như đưa ra các giải pháp nhằm giảm thiểu tác động của dự án đến môi trường xung quanh. Trong xu thế phát triển của ngành xây dựng công trình, BIM ngày càng được áp dụng phổ biến và rộng rãi trong các nghiên cứu về giảm thiểu chi phí xây dựng và hạn chế rủi ro cũng như các nguy cơ tiềm ẩn thông qua các công cụ quản lý [1-3]; giảm thiểu các tác động đến môi trường và hướng tới xây dựng công trình xanh và bền vững [4-9]; hướng tới các giải pháp tiết kiệm năng lượng và sử dụng năng lượng tái tạo cho

¹ TS, Khoa Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng

² PGS.TS, Khoa Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng

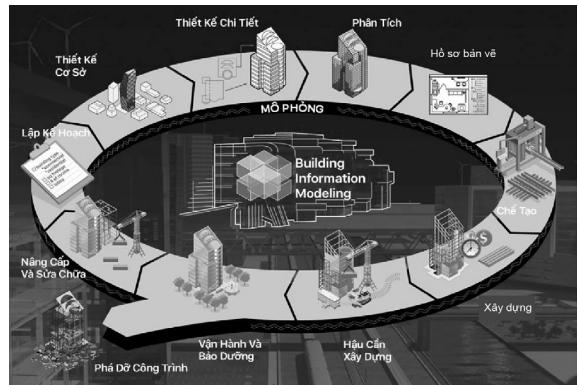
³ KS, Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng

⁴ SV, Khoa Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng

* Tác giả chính. E-mail: luongnd1@nuce.edu.vn.

các công trình [10]. Cấu trúc mô hình thông tin công trình BIM được thể hiện trên Hình 1.

Một trong những ứng dụng hữu ích của BIM trong lĩnh vực sử dụng năng lượng hiệu quả bên trong công trình đó là hỗ trợ việc mô phỏng và phân tích đánh giá tác động của lượng nhiệt bức xạ mặt trời tới các công trình xây dựng dân dụng. Việc áp dụng BIM có thể giúp cho các chuyên gia thiết kế xác định các vấn đề liên quan đến mức tiêu thụ năng lượng của công trình, qua đó tối ưu hóa một số giải pháp nhằm tiết kiệm năng lượng và nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng của công trình như việc điều chỉnh sự vận hành của hệ thống điều hòa không khí nhằm đạt được nhiệt độ phù hợp trong công trình, giúp cho môi trường không khí bên trong công trình đạt các yêu cầu về điều kiện tiện nghi nhiệt mà vẫn đảm bảo mục tiêu tiết kiệm năng lượng bên trong công trình, qua đó giúp giảm các chi phí sử dụng và vận hành công trình. Bên cạnh đó, việc ứng dụng BIM có thể giúp xóa bỏ rào cản của việc kết nối các giai đoạn trong quá trình thiết kế, thi công và vận hành công trình sau này. Ví dụ, kết quả mô phỏng các giải pháp giảm thiểu tác động của lượng nhiệt bức xạ mặt trời lên công trình trong giai đoạn thiết kế có thể đóng vai trò là cơ sở để điều chỉnh và vận hành các thiết bị sử dụng năng lượng bên trong công trình nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng và tiết kiệm năng lượng.



Hình 1. Cấu trúc mô hình thông tin công trình (BIM)

Một số nghiên cứu ở các nước trên thế giới đã cho thấy những lợi ích của việc ứng dụng BIM trong việc đánh giá năng lượng trong công trình. Ví dụ, BIM được ứng dụng để đánh giá tác động của nhiệt độ môi trường không khí bên ngoài đối với điều kiện môi trường không khí bên trong tòa nhà Student Lounge (tòa nhà M3), thuộc đại học Osaka, Nhật Bản nhằm đưa ra các giải pháp điều chỉnh sự vận hành của hệ thống điều hòa không khí của tòa nhà cho phù hợp [11]. Trong một nghiên cứu khác [12], BIM được ứng dụng để xem xét đánh giá sự ảnh hưởng của việc lựa chọn hướng xây dựng đối với mức tiêu thụ năng lượng khi vận hành công trình Storey House nằm trên đường Warwick, vùng Hertfordshire, phía Nam nước Anh. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi mặt tiền của công trình quay về hướng Nam và hướng Đông Bắc thì lượng điện tiêu thụ hằng năm tương ứng là 10475 kWh và 11043 kWh. Bên cạnh đó, BIM cũng được ứng dụng để xây dựng và phát triển thư viện về mô phỏng năng lượng trong tòa nhà đối với các kết cấu bao che (tường, mái nhà, cửa sổ) [13]. Tuy nhiên, hiện nay việc nghiên cứu ứng dụng BIM trong lĩnh vực sử dụng năng lượng hiệu quả bên trong công trình ở Việt Nam vẫn còn là một chủ đề mới. Do đó, mục tiêu chính của nghiên cứu này là ứng dụng BIM để sơ bộ mô phỏng và đánh giá tác động của lượng nhiệt bức xạ mặt trời lên các kết cấu bao che của một công trình xây dựng cụ thể - Tòa nhà văn phòng Technosoft, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội.

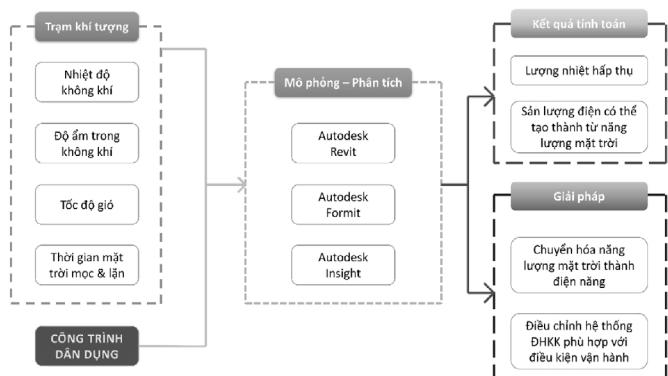
Một số nghiên cứu ở các nước trên thế giới đã cho thấy những lợi ích của việc ứng dụng BIM trong việc đánh giá năng lượng trong công trình. Ví dụ, BIM được ứng dụng để đánh giá tác động của nhiệt độ môi trường không khí bên ngoài đối với điều kiện môi trường không khí bên trong tòa nhà Student Lounge (tòa nhà M3), thuộc đại học Osaka, Nhật Bản nhằm đưa ra các giải pháp điều chỉnh sự vận hành của hệ thống điều hòa không khí của tòa nhà cho phù hợp [11]. Trong một nghiên cứu khác [12], BIM được ứng dụng để xem xét đánh giá sự ảnh hưởng của việc lựa chọn hướng xây dựng đối với mức tiêu thụ năng lượng khi vận hành công trình Storey House nằm trên đường Warwick, vùng Hertfordshire, phía Nam nước Anh. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi mặt tiền của công trình quay về hướng Nam và hướng Đông Bắc thì lượng điện tiêu thụ hằng năm tương ứng là 10475 kWh và 11043 kWh. Bên cạnh đó, BIM cũng được ứng dụng để xây dựng và phát triển thư viện về mô phỏng năng lượng trong tòa nhà đối với các kết cấu bao che (tường, mái nhà, cửa sổ) [13]. Tuy nhiên, hiện nay việc nghiên cứu ứng dụng BIM trong lĩnh vực sử dụng năng lượng hiệu quả bên trong công trình ở Việt Nam vẫn còn là một chủ đề mới. Do đó, mục tiêu chính của nghiên cứu này là ứng dụng BIM để sơ bộ mô phỏng và đánh giá tác động của lượng nhiệt bức xạ mặt trời lên các kết cấu bao che của một công trình xây dựng cụ thể - Tòa nhà văn phòng Technosoft, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội.



2. Phương pháp nghiên cứu

2.1 Bộ công cụ sử dụng để mô phỏng

Trong nghiên cứu này, BIM với bộ công cụ tính toán của hãng Autodesk bao gồm Autodesk Revit, Autodesk Formit và Autodesk Insight được áp dụng để mô phỏng và đánh giá tác động của lượng nhiệt bức xạ mặt trời lên các kết cấu bao che của công trình (Hình 2). Dựa trên mô hình 3D đã có và được nạp sẵn các thông tin về vật liệu như kính, gạch, bê tông,... với các thông số cơ bản như màu sắc, độ dày, độ dẫn nhiệt, nhóm nghiên cứu sử dụng mô hình Solar Energy được tích hợp sẵn trong phần mềm Autodesk Formit (phiên bản mà hãng phần mềm Autodesk cung cấp cho máy tính chạy Offline) và



Hình 2. Mô phỏng và đánh giá tác động của bức xạ mặt trời lên công trình dân dụng trong BIM

phần mềm Autodesk Insight (phiên bản mà hãng phần mềm Autodesk cung cấp chạy Online trên Web Portal) để tiến hành mô phỏng lượng nhiệt bức xạ mặt trời tác động lên công trình. Mô hình Solar Engery sử dụng các thông số đầu vào như nhiệt độ không khí, độ ẩm không khí, tốc độ gió, thời gian mặt trời mọc và lặn cùng với các thông số của kết cấu bao che của tòa nhà để tính toán mô phỏng lượng nhiệt bức xạ mặt trời tác động lên công trình dân dụng, sản lượng điện có thể tạo thành từ năng lượng mặt trời. Các kết quả đầu ra này của mô hình có thể cung cấp cơ sở để đề xuất các giải pháp sử dụng năng lượng mặt trời cho công trình cũng như điều chỉnh quá trình vận hành của hệ thống điều hòa không khí cho phù hợp với điều kiện thực tế góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng và tiết kiệm năng lượng bên trong công trình.

2.2 Mô tả đặc điểm của công trình sử dụng trong nghiên cứu

TechnoSoft Building là tòa nhà văn phòng tọa lạc tại Cụm Tiểu thủ Công nghiệp và Công nghiệp Nhỏ - khu vực tập trung nhiều văn phòng cho thuê trên phố Duy Tân, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội. Mặt tiền của tòa nhà hướng về phía Nam. Xung quanh tòa nhà TechnoSoft ở các hướng Đông, Tây, Bắc có một số công trình nhà cao tầng (>10 tầng) nằm kế bên (Hình 3). Tòa nhà TechnoSoft gồm có 9 tầng & 1 tầng hầm, diện tích sàn là 760 m². Diện tích của kết cấu bao che theo các hướng của mỗi tầng của tòa nhà TechnoSoft được thống kê trong Bảng 1.



Hình 3. Tòa nhà TechnoSoft

Tương tự như phần lớn các tòa nhà văn phòng cao tầng khác hiện nay ở Hà Nội, tòa nhà TechnoSoft cũng sử dụng vật liệu kết cấu bao che chủ yếu là kính, bên cạnh một số loại vật liệu khác như tấm Flexalum Composite và gạch ốp tường. Thông số kỹ thuật của các loại vật liệu bao che sử dụng của tòa nhà TechnoSoft được thể hiện ở Bảng 2.

Bảng 1. Diện tích của kết cấu bao che theo các hướng của mỗi tầng của tòa nhà TechnoSoft

STT	Tầng	Diện tích (m ²)			
		Hướng Đông	Hướng Tây	Hướng Nam	Hướng Bắc
1	Tầng 1	103	95	129	129
2	Tầng 2	103	95	129	129
3	Tầng 3	103	95	129	129
4	Tầng 4	103	95	129	129
5	Tầng 5	103	95	129	129
6	Tầng 6	103	99	129	129
7	Tầng 7	103	99	129	129
8	Tầng 8	103	99	129	129
9	Tầng 9	107	81	134	124

Bảng 2. Một số vật liệu được sử dụng làm kết cấu bao che của tòa nhà TechnoSoft

STT	Tên vật liệu	Độ dày (mm)	Màu sắc	Hệ số dẫn nhiệt (W/m.K)
1	Kính an toàn	10,38	trong suốt	0,78
2	Kính chịu lực	10,00	trong suốt	0,78
3	Kính chớp lật	4,00	trong suốt	0,78
4	Tấm Flexalum Composite	4,00	vàng/ghi/đen	0,33
5	Tấm thạch cao ốp tường	12,00	ghi trắng	0,23
6	Gạch Tuynel	55,00	đỏ nung	0,76
7	Gạch AAC	200,00	ghi trắng	0,22
8	Vữa trát	15,00	ghi	0,93
9	Bê tông cốt thép (mái)	120,00	ghi	1,55

2.3 Số liệu khí tượng

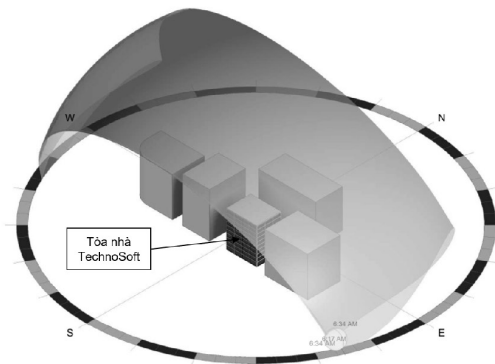
Nghiên cứu này lựa chọn sử dụng các thông số khí tượng được quan trắc trong năm 2010 như một trường hợp tính toán cụ thể để mô phỏng lượng nhiệt bức xạ mặt trời tác động lên các kết cấu của tòa nhà TechnoSoft trong năm 2010. Số liệu khí tượng được sử dụng để mô phỏng bao gồm nhiệt độ không khí, độ ẩm không khí, vận tốc gió, thời gian mặt trời mọc và mặt trời lặn. Các số liệu này được cung cấp bởi trạm khí tượng gần nhất (trạm khí tượng Láng) đặt tại phố Pháo Đài Láng, phường Láng Thượng, quận Đống Đa, Hà Nội, cách tòa nhà TechnoSoft khoảng 2,76 km về phía Đông Nam (Hình 4). Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng tham khảo sử dụng các số liệu bức xạ mặt trời đo tại trạm khí tượng Láng, Hà Nội trong QCVN 02:2009/BXD-Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về số liệu, điều kiện tự nhiên dùng trong xây dựng [14] để so sánh với các kết quả mô phỏng diễn biến lượng nhiệt bức xạ tác động lên các kết cấu bao che của tòa nhà TechnoSoft.



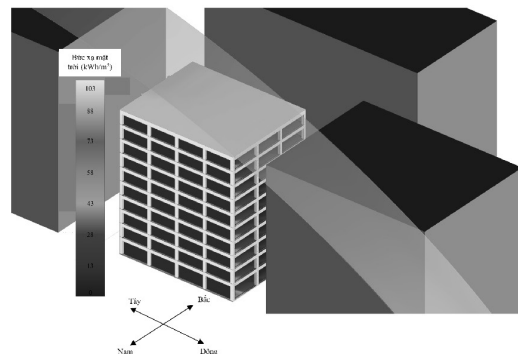
Hình 4. Khoảng cách từ tòa nhà TechnoSoft đến trạm khí tượng đặt tại phố Pháo Đài Láng

3. Kết quả và thảo luận

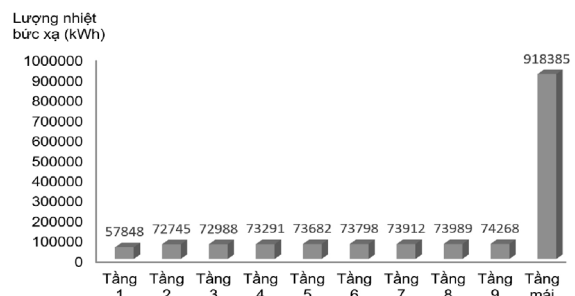
Kết quả sử dụng BIM để mô phỏng lượng nhiệt bức xạ đơn vị tác động lên các kết cấu bao che của tòa nhà TechnoSoft và các tầng của tòa nhà TechnoSoft trong năm 2010 được thể hiện tương ứng ở Hình 5 và Hình 6. Có thể nhận thấy rõ nhất là toàn bộ phần mái của tòa nhà chịu tác động lớn nhất của lượng nhiệt bức xạ mặt trời, gấp 1,42 lần so với tổng lượng nhiệt bức xạ tác động lên các kết cấu bao che của cả 9 tầng. Kết quả mô phỏng cũng cho thấy rằng ở các tầng càng gần mặt đất thì ảnh hưởng của lượng nhiệt bức xạ mặt trời càng giảm. Tầng thấp nhất (tầng 1) chịu tác động của lượng nhiệt bức xạ mặt trời là ít nhất. Một trong những nguyên nhân chính là nhờ sự che chắn của các công trình cao tầng ở xung quanh nên các kết cấu bao che ở các tầng gần mặt đất của tòa nhà TechnoSoft ít chịu tác động trực tiếp của bức xạ mặt trời.



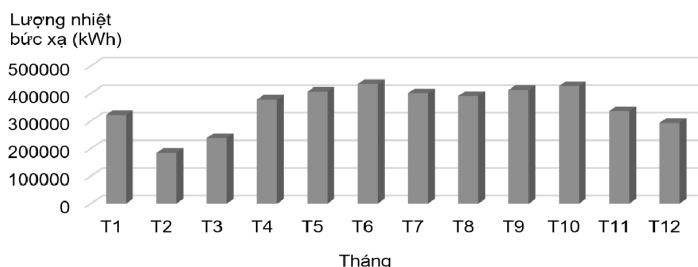
Hình 5. Mô phỏng lượng nhiệt bức xạ tác động lên tòa nhà TechnoSoft trong năm 2010



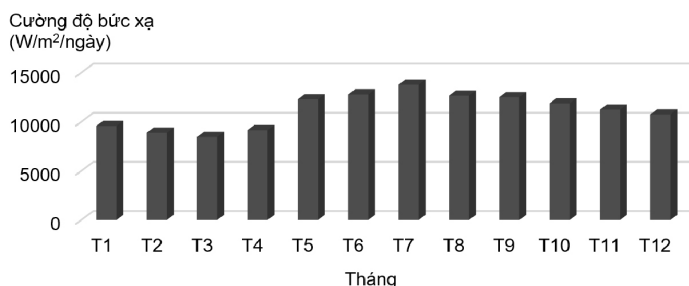
Kết quả mô phỏng lượng nhiệt bức xạ tác động lên các kết cấu bao che của tòa nhà TechnoSoft theo các tháng trong năm 2010 được thể hiện ở Hình 7. Có thể nhận thấy trong các tháng 4, 5, 6, 7, 8, 9, và 10, lượng nhiệt bức xạ tác động lên các kết cấu bao che là lớn hơn so với các tháng còn lại. Kết quả mô phỏng này khá tương đồng với xu hướng diễn biến của giá trị trung bình của tổng cường độ bức xạ trong các tháng (trên mặt bằng và trên mặt đứng 4 hướng Đông, Tây, Nam, Bắc) đo tại trạm khí tượng Láng, Hà Nội [14] như thể hiện ở Hình 8.



Hình 6. Lượng nhiệt bức xạ tác động lên các tầng và mái của tòa nhà TechnoSoft trong năm 2010



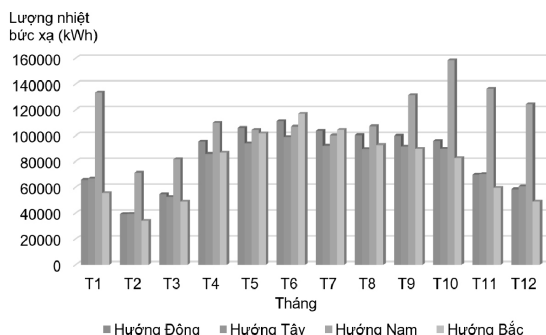
Hình 7. Tổng lượng nhiệt bức xạ tác động lên các kết cấu bao che của tòa nhà TechnoSoft theo các tháng trong năm 2010



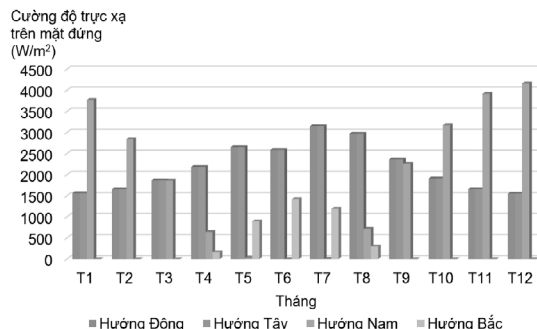
Hình 8. Giá trị trung bình của tổng cường độ bức xạ (trên mặt bằng và trên mặt đứng 4 hướng Đông, Tây, Nam, Bắc) đo tại trạm khí tượng Láng, Hà Nội trong nhiều năm [14]

Kết quả mô phỏng lượng nhiệt bức xạ tác động lên các kết cấu bao che của tòa nhà TechnoSoft theo các hướng trong từng tháng trong năm 2010 được thể hiện ở Hình 9. Nhìn chung các kết quả mô phỏng xu hướng diễn biến của lượng nhiệt bức xạ mặt trời cũng tương đồng với xu hướng diễn biến của giá trị trung bình của cường độ trực xạ trên mặt đứng (4 hướng Đông, Tây, Nam, Bắc) đo tại trạm khí tượng Láng, Hà Nội [14]. Kết quả cho thấy các hướng Đông, Tây và Bắc nhận lượng nhiệt bức xạ lớn nhất trong các tháng 4, 5, 6, 7, 8, 9, và 10, và xu hướng diễn biến của lượng nhiệt bức xạ đối với các hướng này của tòa nhà TechnoSoft là khá tương đồng. Một điểm đáng lưu ý trong kết quả mô phỏng lượng nhiệt bức xạ tác động lên hướng Bắc của tòa nhà TechnoSoft là lượng nhiệt này có giá trị xấp xỉ với kết quả mô phỏng cho các hướng Đông và Tây của tòa nhà (Hình 9). Trong khi đó, kết quả quan trắc tại trạm khí tượng Láng, Hà Nội [14] cho thấy hướng Bắc có giá trị cường độ trực xạ nhỏ hơn nhiều so với các hướng Đông và Tây (Hình 10). Ảnh hưởng của các công trình xung quanh tòa nhà TechnoSoft có thể là một trong những nguyên nhân gây ra sự khác nhau giữa kết quả mô phỏng và số liệu quan trắc. Vì vậy, các nghiên cứu trong tương lai cần tiếp tục làm rõ vấn đề này.

Khác với các hướng Đông, Tây và Bắc, lượng nhiệt bức xạ lớn nhất tác động lên các kết cấu bao che ở hướng Nam của tòa nhà TechnoSoft là vào các tháng 9, 10, 11, 12 và 1. Kết quả mô phỏng này khá tương đồng với xu hướng diễn biến của giá trị trung bình của cường độ trực xạ trên mặt đứng (hướng Nam) đo tại trạm khí tượng Láng, Hà Nội [14].



Hình 9. Lượng nhiệt bức xạ tác động lên tòa nhà TechnoSoft theo các hướng trong từng tháng trong năm 2010



Hình 10. Giá trị trung bình của cường độ trực xạ trên mặt đứng (4 hướng Đông, Tây, Nam, Bắc) đo tại trạm khí tượng Láng, Hà Nội trong nhiều năm [14]



4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, mô hình thông tin công trình BIM đã được ứng dụng để mô phỏng và sơ bộ đánh giá tác động của lượng nhiệt bức xạ mặt trời lên các kết cấu bao che của tòa nhà văn phòng Technosoft ở thành phố Hà Nội trong năm 2010. Nghiên cứu đã cho thấy các kết quả mô phỏng xu hướng diễn biến của lượng nhiệt bức xạ mặt trời tác động lên các kết cấu bao che của tòa nhà Technosoft theo các tháng và các hướng trong năm 2010 khá tương đồng với các số liệu quan trắc lượng nhiệt bức xạ mặt trời trong nhiều năm tại trạm khí tượng Láng, Hà Nội. Kết quả của nghiên cứu này cho thấy tiềm năng ứng dụng của BIM trong mô phỏng và đánh giá tác động của lượng nhiệt bức xạ mặt trời tới các công trình xây dựng dân dụng ở Việt Nam, làm cơ sở để xây dựng các giải pháp thiết kế và vận hành công trình một cách phù hợp, góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng và tiết kiệm năng lượng trong các công trình.

Tài liệu tham khảo

1. María D.M.A., Mónica L.A., María M.R. (2018), "Building information modeling and safety management: A systematic review", *Safety Science*, 101:11-18.
2. Dolly M., Debaditya C., Hazem E., Abhijeet D., Trevor G. (2017), "Building Information Modeling Enabled Cascading Formwork Management Tool", *Automation in Construction*, 83:259-272.
3. Li X., Wu P., Shen G.Q., Wang X., Teng Y. (2017), "Mapping the knowledge domains of Building Information Modeling (BIM): A bibliometric approach", *Automation in Construction*, 84:195-206.
4. Wang J., Wu H., Duan H., Zillante G., Zuoa J., Yuan H. (2018), "Combining Life Cycle Assessment and Building Information Modelling to account for carbon emission of building demolition waste: a case study", *Journal of Cleaner Production*, 172:3154-3166.
5. Fadeyi M.O. (2017), "The role of building information modeling (BIM) in delivering the sustainable building value", *International Journal of Sustainable Built Environment*, in press.
6. Liu Z., Chen K., Peh L., Tan K.W. (2017), "A feasibility study of Building Information Modeling for Green Mark New Non-Residential Building (NRB): 2015 analysis", *Energy Procedia*, 143:80-87.
7. Turk Ž. (2016), "Ten questions concerning building information modelling", *Building and Environment*, 107:274-284.
8. Lu Y., Wu Z., Chang R., Li Y. (2017), "Building Information Modeling (BIM) for green buildings: A critical review and future directions", *Automation in Construction*, 83:134-148.
9. Marzouk M., Othman A. (2017), "Modeling the performance of sustainable sanitation systems using building information modeling", *Journal of Cleaner Production*, 141:1400-1410.
10. Samuel E.I., Joseph-Akwara E., Richard A. (2017), "Assessment of energy utilization and leakages in buildings with building information model energy", *Frontiers of Architectural Research*, 6:29-41.
11. Worawan N., Ali M., Nobuyoshi Y., Tomohiro F. (2017), "Integrating 4D thermal information with BIM for building envelope thermal performance analysis and thermal comfort evaluation in naturally ventilated environments", *Building and Environment*, 124:194-208.
12. Abanda F.H., Byers L. (2016), "An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM (Building Information Modelling)", *Energy*, 97:517-527.
13. Kim J.B., Woon S. J., Mark J.C., Jeff S.H., Wei Y. (2015), "Developing a physical BIM library for building thermal energy simulation", *Automation in Construction*, 50:16-28.
14. Bộ Xây dựng (2009), *QCVN 02 : 2009/BXD-Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia Số liệu điều kiện tự nhiên dùng trong xây dựng*.