

THIẾT KẾ, CHẾ TẠO ĐÈN VÀ HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN, GIÁM SÁT CHIẾU SÁNG ĐỀN GIỀNG - KHU DI TÍCH LỊCH SỬ ĐỀN HÙNG

Nguyễn Hoàng Long^{1*}, Đoàn Hồng Quang¹, Phạm Hồng Dương²,
Trần Quốc Tiến², Trần Hà¹, Lê Quốc Tuấn¹, Nguyễn Văn Đưa¹

¹Trung tâm Công nghệ Vi điện tử và Tin học - Viện Ứng dụng Công nghệ,

²Viện Khoa học Vật liệu - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

TÓM TẮT

Với sự phát triển vượt bậc của các thiết bị và công nghệ chiếu sáng, việc ứng dụng hệ thống chiếu sáng để đảm bảo chất lượng, hiệu quả chiếu sáng và tính thẩm mỹ, linh thiêng của các công trình văn hóa tâm linh là một vấn đề đáng được quan tâm. Trong bài báo này, chúng tôi nghiên cứu, thiết kế một hệ thống chiếu sáng cho không gian thờ cúng tâm linh – Đền Giềng, Khu di tích lịch sử Đền Hùng bao gồm: chế tạo đèn chiếu sáng đặc trưng cho khu di tích, thiết kế phân bố chiếu sáng trong không gian đền, thiết kế hệ thống điều khiển và giám sát tập trung. 02 đèn Bánh chưng và 01 đèn Bánh dày đã được thiết kế với các thông số chiếu sáng như: Quang thông từ 4000-5000 lumen, chỉ số hoàn màu CRI > 80, tích hợp bộ điều chỉnh cường độ sáng từ xa. Bên cạnh đó, hệ thống chiếu sáng cho toàn bộ khu vực Đền bao gồm chiếu sáng nội thất và ngoại thất đã làm nổi bật lên kiến trúc thiết kế cổ kính của khu di tích. Hệ thống chiếu sáng được tích hợp phần điều khiển và giám sát từ xa cho phép bật/tắt, xây dựng kịch bản chiếu sáng và giám sát sự cố cháy, hỏng của các thiết bị.

Từ khóa: Điều khiển chiếu sáng; đèn Bánh chưng; đèn Bánh dày; giám sát chiếu sáng; Khu di tích lịch sử Đền Hùng

Ngày nhận bài: 16/10/2020; Ngày hoàn thiện: 30/11/2020; Ngày đăng: 30/11/2020

DESIGNING, MANUFACTURING LIGHTS AND LIGHTING SYSTEM IN GIENG TEMPLE – HUNG KINGS TEMPLE HISTORIC SITE

Nguyen Hoang Long^{1*}, Doan Hong Quang¹, Pham Hong Duong²,
Tran Quoc Tien², Tran Ha¹, Le Quoc Tuan¹, Nguyen Van Dua¹

¹Center for Microelectronics and Information Technology - National Center for Technological Progress,

²Institute of Materials Science - Vietnam Academy of Science and Technology

ABSTRACT

With the rapid development of lighting equipment and technology, the application of lighting systems to ensure the quality, lighting efficiency and aesthetics, and holiness of cultural and spiritual works is a problem that deserves attention. In this article, we research and design a lighting system for the spiritual worship space - Gieng Temple, Hung Kings Temple historical site including: manufacturing-specific lights for the relic, lighting distribution design in temple space, design of centralized control and monitoring system. 02 Banh-chung lights and 01 Banh-day light have been designed with lighting parameters such as: Luminous flux from 4000-5000 lumens, color rendering index CRI > 80, built-in remote intensity controller. Besides, the lighting system for the entire temple area including interior and exterior lighting has highlighted the ancient architecture design of the monument. The lighting system is integrated with remote control and monitoring to enable on/ off, building lighting scenarios, and monitoring fire and failure of equipment.

Keywords: Lighting control; Banh-chung light; Banh-day light; Lighting monitoring; Hung Kings Temple historical site

Received: 16/10/2020; Revised: 30/11/2020; Published: 30/11/2020

* Corresponding author. Email: nguyenhoanglong4493@gmail.com

1. Giới thiệu

Việt Nam là đất nước có tín ngưỡng thờ cúng Hùng Vương ở Phú Thọ lâu đời, là di sản văn hóa phi vật thể của nhân loại được UNESCO công nhận năm 2012. Khu di tích lịch sử Đền Hùng có các đền được xây dựng với kiến trúc truyền thống, các vật dụng thờ cúng tiêu biểu cho văn hoá tín ngưỡng, thờ tự mang bản sắc của phong tục thờ cúng tổ tiên. Tuy nhiên, việc chiếu sáng cho không gian thờ tự trong đền chùa Việt Nam nói chung đều dựa vào ánh sáng tự nhiên, có bổ sung thêm ánh sáng của đèn dầu. Một số đền truyền thống không đảm bảo được độ sáng, độ rọi ổn định, đặc biệt chưa làm nổi bật tính thẩm mỹ và kiến trúc của các Đền. Nhiều vị trí chiếu sáng tự phát còn gây ra ô nhiễm ánh sáng, thừa ánh sáng quá mức hay gây chói lóa tạo cảm giác không thoải mái cho du khách đi thăm quan.

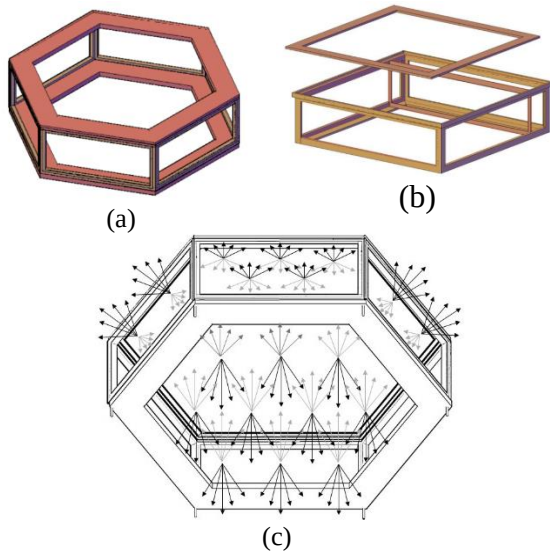
Ngày nay, ánh sáng nhân tạo đang được sử dụng nhiều trong cuộc sống hiện tại. Các phương pháp chiếu sáng không còn bị giới hạn chỉ đơn giản bật tắt mà có thể điều khiển để tạo ra các khung cảnh, không gian phù hợp. Tiêu biểu là các hệ thống quản lý chiếu sáng cho tu viện San Lorenzo ad Septimum tại Ý [1], nhà thờ Temple de Lutry tại Thụy Sĩ [2] và nhà nguyện Sistine ở Rome [3]. Rất nhiều công nghệ đã được ứng dụng để điều khiển chiếu sáng như: phương pháp sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo [4], phương pháp không cảm biến [5], phương pháp chiếu sáng tập trung [6],... Các hệ thống phần lớn sử dụng công nghệ không dây để điều khiển từng bộ đèn, điều chỉnh nhiệt độ màu để tùy chỉnh khung cảnh ánh sáng khác nhau thông qua ứng dụng điện thoại. Ngoài ra, hệ thống còn có kịch bản chiếu sáng tự động cho các tour du lịch, làm tôn lên vẻ đẹp của khu di tích, giúp thu hút nhiều khách tham quan, chiêm ngưỡng.

Từ những phân tích trên, trong nghiên cứu này, chúng tôi tập trung thiết kế, lắp đặt hệ thống chiếu sáng cho khu di tích Đền Giếng có tích hợp các đèn chiếu sáng được thiết kế đặc trưng và hệ thống điều khiển giám sát tập trung.

2. Nội dung nghiên cứu

2.1. Thiết kế đèn chiếu sáng đặc trưng cho Đền Giếng

Trong các không gian truyền thống như là nhà gỗ, đền, đình, chùa, các đồ vật, trần, tường, sàn thường có màu tối; do đó, vai trò phản xạ ánh sáng của chúng là không đáng kể. Ánh sáng cho quan sát trong những không gian như vậy phần lớn đến trực tiếp từ đèn thường có độ chói cao. Do vậy, việc sử dụng các loại đèn có trường phát sáng rộng là rất quan trọng trong việc giảm độ chói, giảm bóng khi quan sát đồ vật. Ngoài ra, để đảm bảo cho việc chiếu sáng nêu trên, các loại đèn còn được yêu cầu có thiết kế và hình thức đẹp, độc đáo, cân đối với không gian và kiến trúc căn phòng, cùng với đó là khả năng đáp ứng ánh sáng đồng đều, giảm thiểu độ chói lóa, giảm bóng tạo cảm giác thoải mái, ấm cúng khi sử dụng. Trong thiết kế này, chúng tôi tiến hành thiết kế một bộ đèn lồng có hình lục giác (tượng trưng cho bánh dày) đường kính 1200 mm và đèn lồng hình vuông (tượng trưng cho bánh chưng) có kích thước 1200 mm x 1200 mm x 350 mm sử dụng LED chiếu từ cạnh. Kết cấu thiết bị đèn bao gồm ba bộ phận chính là bộ phận khung đèn, đèn LED và các tấm tán xạ có độ truyền qua 50%. Về cơ bản, bộ phận khung đèn được thiết kế dưới dạng giống đèn lồng hình lục giác (sáu cạnh) (Hình 1a), hình hộp chữ nhật (Hình 1b), các mặt gồm các khe để bắt cố định các tấm tán xạ truyền qua. Ánh sáng được phát ra từ các chuỗi LED gắn cố định vào các cạnh dưới của khung đèn. Thiết kế này cho phép ánh sáng hắt từ dưới lên các mặt của khung đèn nhờ các tấm tán xạ truyền qua cho phép ánh sáng truyền qua 50% và tán xạ ra các hướng khác nhau giúp tăng diện tích chiếu sáng lên (Hình 1c). Hơn nữa, ánh sáng chiếu ra của bộ đèn không dưới dạng trực tiếp, vì vậy hạn chế được các hiện tượng chói lóa và bóng được giảm đi đáng kể, khác biệt hẳn so với các loại đèn chùm thông thường.



Hình 1. Bản vẽ thiết kế đèn Bánh dày (a), đèn Bánh chưng (b) và phân bố chiếu sáng qua các tấm tán xạ (c)

2.2. Thiết kế bố trí chiếu sáng

Đặc điểm của các công trình kiến trúc là không gian bên trong đèn phụ thuộc rất nhiều vào ánh sáng tự nhiên. Đây là nguồn sáng bất định, do đó các đèn phải có chức năng điều khiển cường độ để giảm bớt ảnh hưởng của yếu tố này. Tiến hành thiết kế hệ thống chiếu sáng với giả thiết không có ánh sáng tự nhiên và các dữ liệu đầu vào như trong Bảng 1. Phần mềm DiaLux Evo 8.0 được sử dụng để tính toán thiết kế phân bố chiếu sáng. Hình 2 thể hiện kết quả mô phỏng chiếu sáng của hậu cung vào ban đêm khi sử dụng đèn Bánh chưng, đèn Bánh dày với thông số quang thông là 4400 lumen.

Bảng 1. Kích thước từng gian của Đèn Giếng

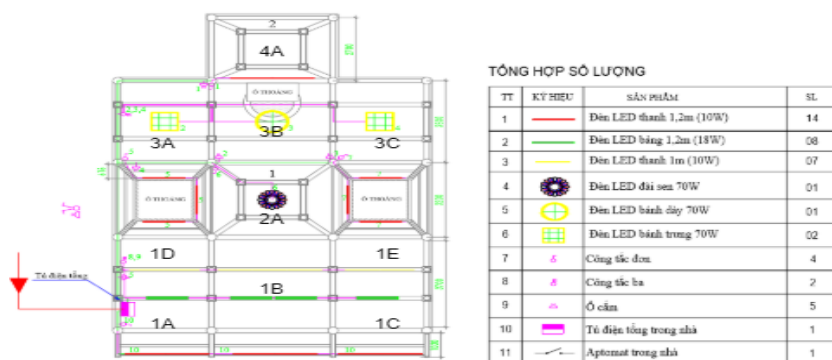
Vị trí	Chiều rộng (m)	Chiều dài (m)	Chiều cao đến thượng lương (m)	Chiều cao đến xà lông (m)	Tổng diện tích (m ²)
Gian ngoài	7.5	4	3.69	2.9	29,6
Gian giữa	7.5	3.2	3.85	2.9	24
Gian trong	7.5	3.5	3.69	2.9	26,25



Hình 2. Ảnh mô phỏng chiếu sáng hậu cung Đèn Giếng ban đêm

Nhóm tiến hành sử dụng phần mềm mô phỏng kết hợp với khảo sát thực địa và đã đưa ra được sơ đồ lắp đặt chiếu sáng nội thất như Hình 3. Trong thiết kế này, đèn Bánh chưng, đèn Bánh dày được đặt để chiếu sáng trong hậu cung. Các đèn LED thanh với góc chiếu rộng được sử dụng để chiếu sáng chung, đặt ở các vị trí thấp hất lên phía trên làm giảm sự chói lóa. Để làm nổi bật các kết cấu mái bao gồm thượng lương, xà nách, kê ngói, ngói; hoành phi câu đối thì LED chiếu bằng được sử dụng để tăng hiệu quả chiếu sáng. 01 LED dài sen (có tích hợp dimming) đặt ở gian thờ chính giữa.

ĐÈN GIẾNG - MẶT BẰNG CHIẾU SÁNG INDOOR



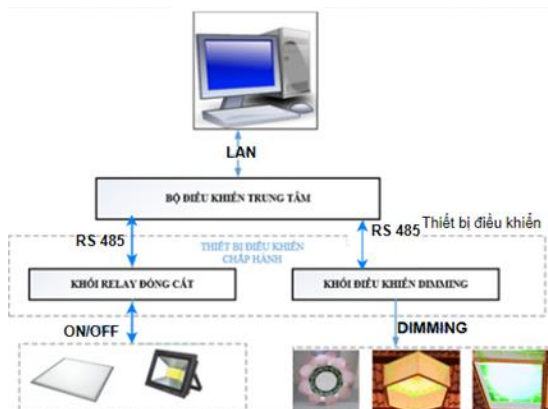
Hình 3. Sơ đồ lắp đặt chiếu sáng nội thất

2.3. Thiết kế hệ thống điều khiển

Từ bản vẽ thiết kế hệ thống, nhóm nghiên cứu đưa ra mô hình hoạt động của hệ thống điều khiển chiếu sáng như Hình 4. Hệ thống hoạt động đáp ứng các yêu cầu cơ bản như sau:

- Cho phép điều khiển thủ công bằng công tắc ngay tại đèn (dành cho người trông coi đèn) hoặc thông qua phần mềm (dành cho người quản lý).
- Thuận tiện cho bảo trì, bảo dưỡng.
- Theo dõi, giám sát trạng thái đèn và các thông số điện năng.
- Có khả năng vận hành độc lập theo kịch bản được lưu mà không có phần mềm.

Mô hình hệ thống chiếu sáng bao gồm thiết bị điều khiển trung tâm điều khiển các thiết bị chấp hành. Có hai loại thiết bị chấp hành là điều khiển đóng cắt thông thường (thiết bị On/Off) dùng cho các cụm đèn công suất cao và thiết bị điều khiển cường độ sáng (thiết bị Dimming) dành riêng cho đèn Bán chum và đèn Bán dày được nhóm thiết kế. Trong hệ thống, thiết bị điều khiển trung tâm giao tiếp với thiết bị chấp hành qua giao thức RS485. Chuẩn giao tiếp TCP/IP được sử dụng để truyền dữ liệu từ thiết bị trung tâm về phòng điều hành thông qua đường cáp quang.



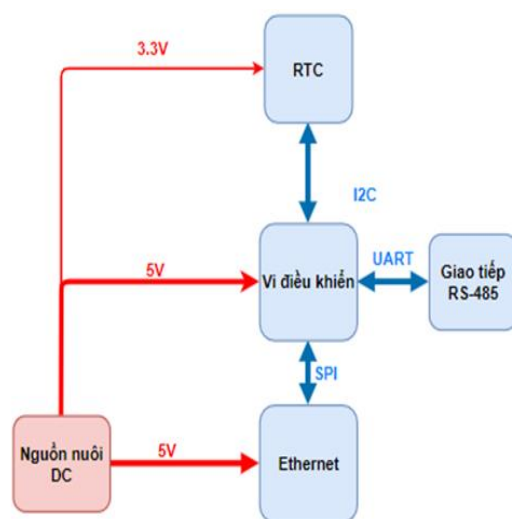
Hình 4. Mô hình hệ thống điều khiển chiếu sáng

2.3.1. Thiết kế phần cứng

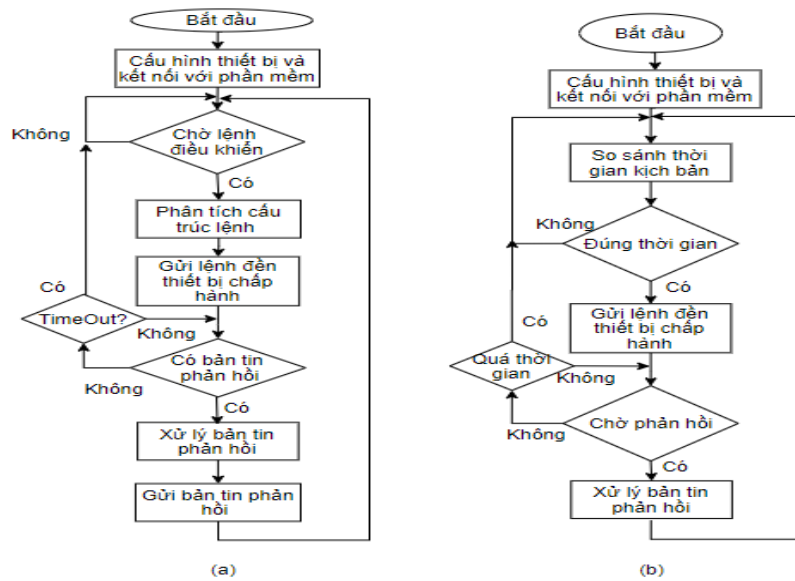
a) Thiết bị điều khiển trung tâm

Thiết bị trung tâm là thiết bị quan trọng nhất trong hệ thống, vừa đóng vai trò trung gian

chuyển tiếp lệnh từ phần mềm đến các thiết bị chấp hành, vừa đóng vai trò chính để điều khiển chiếu sáng theo kịch bản khi hoạt động độc lập. Thiết bị sử dụng chip vi điều khiển Atmega2560 dựa trên Microchip 8-bit AVR RISC hiệu suất cao, hỗ trợ nhiều giao tiếp ngoại vi phù hợp với dự án. Đối với giao tiếp, W5100 là giải pháp cho giao tiếp TCP/IP giúp các vi điều khiển có thể truyền nhận với tốc độ tối đa mà không cần thêm IC lớp PHY. Đối với RS-485, sử dụng chip SN65HVD82 do có khả năng kháng nhiễu mạnh, ổn định, được sử dụng phổ biến trong công nghiệp. Hình 5 thể hiện sơ đồ khối chức năng của thiết bị. Lưu đồ thuật toán của thiết bị trong cả hai trường hợp được đưa ra như trong Hình 6. Hình 6a mô tả quá trình điều khiển khi có một lệnh điều khiển từ phần mềm. Qua đường truyền Ethernet, thiết bị trung tâm sẽ nhận, phân tích sau đó gửi lệnh đến các thiết bị chấp hành bằng đường truyền RS-485. Thông tin trả về từ thiết bị chấp hành được thiết bị trung tâm xử lý trước khi truyền đến phần mềm. Hình 6b mô tả quá trình hệ thống hoạt động độc lập, điều khiển chiếu sáng theo kịch bản được lưu trước đó. Thay vì chờ lệnh từ phần mềm, bộ đếm thời gian thực sử dụng chip DS1307 trên thiết bị được đối chiếu với kịch bản để điều khiển các thiết bị chấp hành bên dưới.

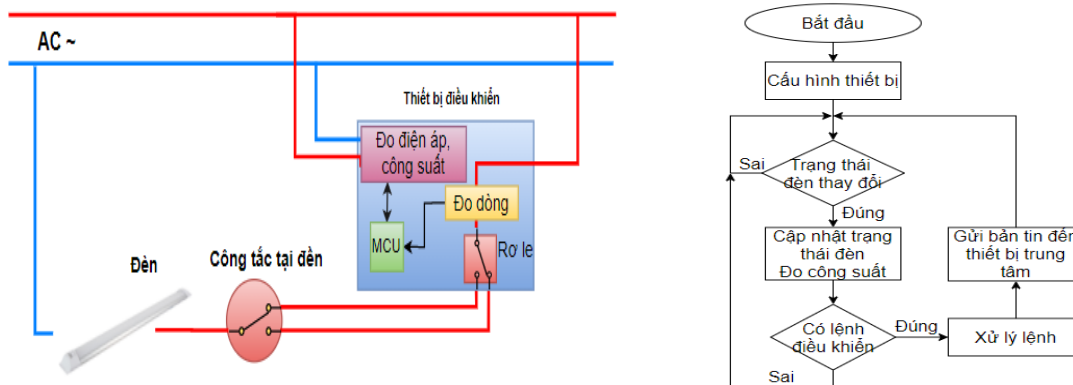


Hình 5. Sơ đồ khối chức năng



Hình 6. (a) Lưu đồ thuật toán khi có lệnh điều khiển, (b) Lưu đồ thuật toán khi hoạt động độc lập

b) Thiết bị điều khiển chấp hành



Hình 7. (a) Sơ đồ kết nối và khối chức năng của thiết bị chấp hành, (b) Lưu đồ nhận và xử lý lệnh của thiết bị chấp hành

Bên cạnh các chức năng chung như đo dòng điện, đo điện áp và công suất, điều khiển rơle, điểm khác biệt giữa hai loại thiết bị chấp hành là thiết bị On/Off có khả năng đóng cắt nhiều cụm đèn với công suất lớn, trong khi đó thiết bị Dimming có thêm chức năng tạo tín hiệu điều khiển PWM cho bộ Driver Led EUG-150S210DV để thay đổi cường độ sáng với hiệu năng cao (công suất chuyển đổi 98%). Hình 7a mô tả sơ đồ kết nối và khối chức năng chung của thiết bị chấp hành.

Quá trình nhận và xử lý lệnh điều khiển của các thiết bị chấp hành được trình bày trong lưu đồ Hình 7b.

2.3.2. Thiết kế phần mềm điều khiển chiếu sáng tập trung

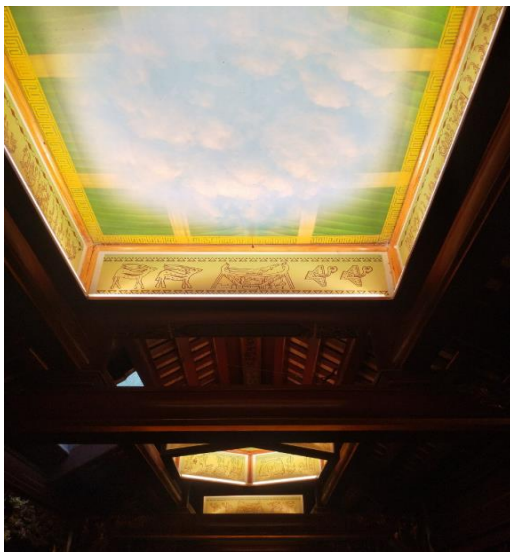
Phần mềm được thiết kế là một phần trong hệ thống giám sát tổng thể của di tích Đèn Hùng, nhằm nâng cao hiệu quả chiếu sáng và thuận tiện cho việc quản lý. Phần mềm có các tính năng chính bao gồm: Thực hiện giám sát các cụm đèn chiếu sáng trong và ngoài đèn Giếng (trạng thái, công suất tiêu thụ); điều khiển bật/tắt, cường độ đèn; cài đặt kịch bản chiếu sáng. Giao diện điều khiển của phần mềm bao gồm hai màn hình như trong Hình 8.



Hình 8. (a) Giao diện điều khiển, (b) Giao diện giám sát

3. Kết quả và bàn luận

Sau quá trình nghiên cứu, thiết kế, hệ thống chiếu sáng đã được triển khai lắp đặt và chạy trực tiếp tại Đền Giếng – Khu di tích lịch sử Đền Hùng. Hình 9 thể hiện hình ảnh thực tế lắp đặt đèn Bánh chưng, đèn Bánh dày tại Đền Giếng. Đèn sau khi chế tạo có các thông số cơ bản như: nhiệt độ màu 3000K, chỉ số hoàn màu (CRI) ~ 80, quang thông là 4800 lm...



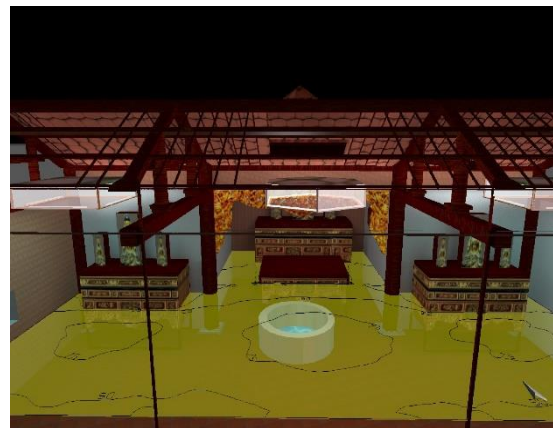
Hình 9. Hình ảnh đèn Bánh chưng, đèn Bánh dày lắp đặt thực tế trong hậu cung

Một số kết quả đo, thử nghiệm hệ thống đã được nhóm nghiên cứu tiến hành bao gồm:

- Đo đánh giá phân bố chiếu sáng;
- Thử nghiệm đánh giá độ chính xác phép đo công suất;
- Thử nghiệm đánh giá độ ổn định của hệ thống.

Bảng 2. Kết quả thu được tại một số vị trí trong thực tế

Vị trí	Etb, Lux
Gian ngoài, 1A	112
Gian ngoài, 1B	125
Gian ngoài, 1C	113
Gian ngoài, 1D	128
Gian ngoài, 1E	128
Gian giữa, 2A	160
Hậu cung, 3A	80
Hậu cung, 3B	110
Hậu cung, 3C	85
Ô đặt tượng, 4A	50



Hình 10. Kết quả mô phỏng phân bố chiếu sáng trong hậu cung

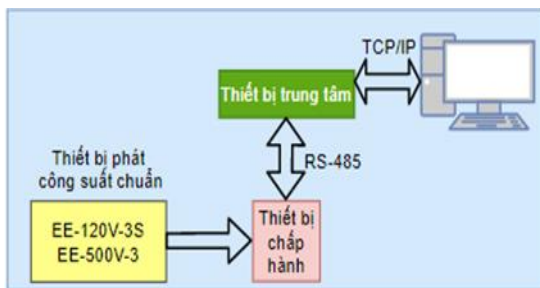
* Đánh giá phân bố chiếu sáng

Để tiến hành đánh giá chất lượng chiếu sáng của hệ thống mới, chúng tôi đã sử dụng thiết bị Digital Light Meter để tiến hành đo độ rọi tại một số vị trí trong Đền đã được thể hiện ở Hình 3. Kết quả được tiến hành đo tại nhiều

điểm trong cùng một không gian để đánh giá độ đồng đều (Bảng 2). Từ kết quả trên cho thấy kết quả ánh sáng phân bố khá đồng đều. Ở vị trí 2A (gian giữa lắp đèn Đài sen), cường độ sáng cao hơn so với các khu vực khác do ảnh hưởng bởi 2 ô thoáng lấy sáng tự nhiên (giếng trời). Kết quả đo chiếu sáng trong hậu cung (3A, 3B, 3C) cho thấy cường độ chiếu sáng đạt 80 – 85 lux gần tương đồng với kết quả mô phỏng phân bố chiếu sáng từ 65 – 75 lux như Hình 10. Cường độ chiếu sáng đo thực tế lớn hơn so với mô phỏng là do chịu ảnh hưởng bởi ánh sáng bên ngoài.

* Đánh giá đo công suất

Thiết bị điều khiển có tích hợp mô-đun đo công suất PZEMT-004T có dải đo lên đến 2200 W, độ chính xác 0.5% giá trị đọc. Nhóm nghiên cứu tiến hành đánh giá độ chính xác của mô-đun này bằng phương pháp so sánh trực tiếp với thiết bị phát công suất chuẩn Emsyst (EE-120A-3S và EE-500-3). Sơ đồ đấu nối thiết bị được mô tả ở Hình 11. Các điểm đo tương ứng với 10%, 50% và 90% thang đo của mô-đun. Kết quả được thể hiện ở Bảng 3.



Hình 11. Mô hình hệ đo

Bảng 3. Kết quả đo công suất

Giá trị phát chuẩn (W)	Giá trị đọc (W)	Sai số cho phép (±)
220	219.6	1.1
1100	1105	5.5
2000	2004	10

Từ kết quả thu được, nhóm nghiên cứu đánh giá khả năng đo công suất của thiết bị điều khiển phù hợp với công suất thiết kế của cơ cấu chấp hành và nằm trong khoảng sai số cho phép.

* Đánh giá độ ổn định của hệ thống

Thử nghiệm được tiến hành nhằm đánh giá khả năng kết nối với phần mềm cũng như các chức năng điều khiển, giám sát của hệ thống. Theo dõi hoạt động của hệ thống liên tục trong 10 ngày. Các chức năng trong hệ thống được kiểm tra và ghi lại từng ngày. Thử nghiệm đối với chức năng:

- Chức năng cập nhật trạng thái: thực hiện thay đổi trạng thái đèn bằng công tắc 3 cực sau đó theo dõi trạng thái bóng trên phần mềm.

- Chức năng đo dòng điện, điện áp và công suất: ghi lại các thông số về điện năng đối với mỗi khu vực điều khiển.

- Chức năng tự động điều khiển theo kịch bản: các kịch bản được thay đổi hàng ngày với các khung thời gian khác nhau. Sau đó sẽ theo dõi hệ thống có điều khiển đúng theo kịch bản không.

Các kết quả thử nghiệm được ghi và cập nhật trong Bảng 4.

Qua kết quả thử nghiệm có thể thấy các chức năng đo các thông số điện năng, điều khiển theo kịch bản, giám sát của hệ thống hoạt động tốt trong 10 ngày hoạt động liên tục. Chức năng điều khiển có sự sai khác giữa các gian cụ thể khu vực phương đình có tỉ lệ lỗi 1,3%; tiếp đến hậu cung có tỉ lệ 1%.

Bảng 4. Kết quả khảo sát khả năng hoạt động trong 10 ngày

Khu vực	Chức năng			
	Điều khiển	Giám sát	Đo điện năng	Theo kịch bản
Tiền bái	999/1000	500/500	•	•
Phương đình	987/1000	500/500	•	•
Hậu cung	990/1000	500/500	•	•
Mái nhà	1000/1000	500/500	•	•
Sân đèn	1000/1000	500/500	•	•

4. Kết luận

Sau quá trình nghiên cứu, thử nghiệm, nhóm thực hiện đề tài đã thiết kế thành công đèn Bánh chưng và đèn Bánh dày mang đặc trưng

của khu di tích tâm linh Đền Hùng. Hệ thống chiếu sáng nội và ngoại thất Đền Giếng được thiết kế và lắp đặt đảm bảo về độ đồng đều trong chiếu sáng, làm nổi bật lên nét đẹp, cổ kính của khu di tích. Bên cạnh đó, việc tích hợp hệ thống điều khiển giám sát tập trung chiếu sáng đã giúp cho việc vận hành hệ thống được dễ dàng và linh hoạt hơn. Có thể điều chỉnh được cường độ sáng để phù hợp với các kịch bản chiếu sáng trong ngày, theo mùa hay trong các dịp lễ tết.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi đề tài cấp nhà nước "Nghiên cứu, ứng dụng công nghệ cao nhằm nâng cao hiệu quả quản lý và phát triển bền vững Khu di tích lịch sử Quốc gia đặc biệt Đền Hùng" mã số ĐTĐL.CN-35/17.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1]. G. Ciampi et al., "Retrofitting Solutions for Energy Saving in a Historical Building Lighting System," *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 2669-2674, 2015.
- [2]. M. Rademacher, "Intelligent lighting in historical building," Tridonic, February 21, 2019. [Online]. Available: <https://www.tridonic.com>. [Accessed July. 17, 2019].
- [3]. I. D. Rowland, "Relighting the Sistine Chapel," *The Journal of the American Institute Architects*, April 8, 2014. [Online]. Available: <https://www.architectmagazine.com>. [Accessed Dec. 8, 2014].
- [4]. M. N. Abdullah, and K. R. Wagiman, "Intelligent Lighting Control System for Energy Savings in Office Building," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 11, no. 1 pp. 195-202, 2018.
- [5]. S. Yoo, J. Kim, C. Y. Jang, H. Jeong, "A sensor-less LED dimming system based on daylight harvesting with BIPV systems," *Optical Society of America*, vol. 22, no. 14, pp. 132-143, 2013.
- [6]. C. Balocco, G. Volante, "A Method for Sustainable Lighting, Preventive Conservation, Energy Design and Technology - Lighting a Historical Church Converted into a University Library," *Sustainability*, vol. 11, no. 11, pp. 31-45, 2019.