

Ứng dụng phương pháp tối ưu hóa trong thiết kế công trình hiệu quả năng lượng

- Nguyễn Anh Tuấn¹
- Lê Thị Kim Dung¹
- Phan Tiến Vinh²

¹ Khoa Kiến trúc, trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng

² Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Cao đẳng Công nghệ, Đại học Đà Nẵng

(Bản nhận ngày 10 tháng 08 năm 2015, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 01 tháng 12 năm 2015)

TÓM TẮT

Công trình hiệu quả năng lượng là một trong những tiêu chí hàng đầu, chiếm trọng số đánh giá lớn trong các bộ tiêu chí công trình xanh như LEED, BREEAM, LOTUS,... Do đó công trình hiệu quả năng lượng là mục tiêu quan trọng hàng đầu mà công trình xanh cần đạt. Bài báo này giới thiệu tổng quan phương pháp tối ưu hóa trong toán học (bài toán tìm cực đại, cực tiểu của hàm số) và việc phát triển các ứng dụng nhằm đưa tối ưu hóa vào thiết kế xây dựng. Hai

trường hợp nghiên cứu điển hình được dùng để minh họa phương pháp thiết kế này. Thứ nhất là một công trình chung cư thông gió tự nhiên được tối ưu hóa thiết kế bằng thuật tìm kiếm bầy đàn, giúp cải thiện tối đa tiện nghi nhiệt. Trường hợp thứ hai là một bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu, trong đó một công trình nhà ở có điều hòa không khí được tối ưu hóa bằng một thuật toán tiến hóa giúp giảm thiểu năng lượng tiêu thụ trong khi vẫn đảm bảo giá thành xây dựng hợp lý.

Từ khóa: tối ưu hóa, công trình xanh, hiệu quả năng lượng, tiện nghi nhiệt, nhà ở.

1. BỐI CẢNH NGHIÊN CỨU VÀ CÁC MỤC TIÊU

Công trình hiệu quả năng lượng là một trong những tiêu chí hàng đầu, chiếm trọng số đánh giá lớn trong các bộ tiêu chí công trình xanh như LEED, BREEAM, LOTUS,... Để đạt được các chứng chỉ xanh cho công trình xây dựng thì cần thỏa mãn yêu cầu về hiệu quả năng lượng [1, 2]. Trong công cụ LEED 4.0, tối ưu hóa năng lượng có thể đạt được đến 20 điểm / tổng số 80 điểm nếu công trình giảm đến 50% năng lượng so với mức bình thường. Do đó, giảm thiểu tiêu thụ năng

lượng trong công trình là một yêu cầu quan trọng của thiết kế công trình xanh.

Khi thiết kế, bằng tri thức kinh nghiệm, các KTS thường vận dụng các chiến lược thiết kế thụ động giúp công trình đạt hiệu năng tốt hơn. Trên thực tế, cách làm này chỉ đạt hiệu quả khiêm tốn do các KTS thường phải đối mặt với những sự lựa chọn khó khăn. Ví dụ: diện tích cửa sổ kính bao nhiêu là vừa – khi mở lớn sẽ thông gió và

chiếu sáng tốt hơn, nhưng lại nhận nhiều bức xạ mặt trời (BXMT) khiến công trình nóng bức và tổn năng lượng làm mát; hay tường ngoài nên có cách nhiệt hay không – nếu không có thì công trình ấm hơn vào mùa lạnh nhưng nóng hơn vào mùa hè, do nhiều BXMT được hấp thu qua tường vào nhà khiến hệ thống điều hòa làm việc nhiều hơn [3].

Thực tế này đòi hỏi rằng các KTS và người thiết kế công trình cần được trang bị một phương pháp tốt hơn nhằm giải quyết triệt để những lựa chọn khó khăn. Hiện nay việc sử dụng các công cụ mô phỏng hiệu năng công trình vào trong thiết kế công trình xanh đã trở nên phổ biến [1]. Các công ty tư vấn thiết kế uy tín đều có đội ngũ chuyên gia riêng hoặc thuê tư vấn độc lập để mô phỏng năng lượng công trình (ví dụ công trình Velodrome London 2012 [4]).

Bài báo này giới thiệu một nghiên cứu nhằm đưa phương pháp tối ưu hóa dựa trên mô phỏng tích hợp vào trong công việc thiết kế của các KTS, giúp họ tối ưu hóa được hiệu năng của công trình (tiện nghi nhiệt, năng lượng tiêu thụ, chiếu sáng tự nhiên...). Việc xây dựng mô hình 3D CAD của công trình, mô hình năng lượng công trình và thuật toán tối ưu hóa là công việc của các lĩnh vực thiết kế, mô phỏng và toán học. Việc kết hợp cả 3 lĩnh vực đòi hỏi nhiều nỗ lực và sự am hiểu sâu sắc trong nhiều vấn đề. Chúng tôi đã tập trung giải quyết 2 vướng mắc cơ bản trong việc đưa tối ưu hóa và mô phỏng năng lượng công trình vào quá trình thiết kế, gồm:

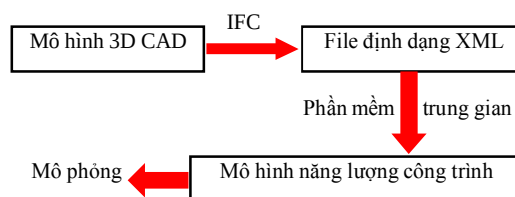
- Chuyển đổi mô hình 3D CAD của các nhà thiết kế thành mô hình năng lượng dùng trong mô phỏng hiệu năng công trình;
- Kết nối chương trình mô phỏng hiệu năng công trình với các thuật toán tối ưu hóa tạo thành một vòng lặp khép kín.

Phương pháp mới được áp dụng vào thiết kế cải tạo 2 công trình xây dựng thực tế để kiểm tra sự vận hành thông suốt và hiệu quả mà phương pháp mang lại.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Chuyển đổi mô hình 3D CAD thành mô hình năng lượng công trình

Các nhà thiết kế kiến trúc thường làm việc với các phần mềm thiết kế như AutoCAD, Revit, ArchiCAD, Vectorworks Architect, Bentley Architecture... Việc chuyển đổi các mô hình công trình ở dạng 3D trên những phần mềm này thành các mô hình năng lượng là một việc rất mất thời gian và khá phức tạp, thường làm nản lòng các KTS muốn thực hiện mô phỏng năng lượng công trình. Để giải quyết bài toán này, nghiên cứu này chọn phương pháp trích xuất dữ liệu công trình và sao lưu dưới định dạng ngôn ngữ eXtensible Markup Language (XML). Mục đích chính của ngôn ngữ lập trình XML là đơn giản hóa việc chia sẻ dữ liệu giữa các hệ thống khác nhau, đặc biệt là các hệ thống được kết nối với Internet. Các phần mềm thiết kế BIM (building information modeling) có tích hợp mô hình dữ liệu IFC (Industry Foundation Classes), như Revit, ArchiCAD, Bentley Architecture ... đều có khả năng sao lưu và chia sẻ thông tin thông qua ngôn ngữ XML. Quá trình chuyển đổi này được thể hiện trong Hình 1.



Hình 1. Quá trình chuyển đổi thông tin từ mô hình 3D CAD sang mô hình năng lượng công trình

Bằng cách này các mô hình công trình dạng 3D được chia sẻ và chuyển đổi với các chương trình mô phỏng năng lượng khác. Quá trình này tuy không hoàn toàn đơn giản nhưng cũng đã giảm bớt được rất nhiều công việc cho người thiết kế.

2.2 Khái quát về tối ưu hóa

Tối ưu hóa là một dạng bài toán đi tìm cực tiểu (hoặc cực đại) của một hàm số:

tìm $X_o = (x_1, x_2, \dots, x_n), X_o \in A \subseteq \mathbb{R}^n$ với $-\infty \leq x_i^l \leq x_i \leq x_i^u \leq +\infty$; sao cho:

$f_j(X_o) \leq f_j(X), \forall X \in A$; bị ràng buộc bởi các điều kiện $g_k(X_o) \geq 0$ và (hoặc) $h_l(X_o) = 0$;

trong đó:

$i \in \{1, \dots, n\}; j \in \{1, \dots, m\}; k \in \{1, \dots, p\}; l \in \{1, \dots, q\}$
 $f_i(X), f_j(X), g_k(X), h_l(X)$ là những hàm số thực; X là vector đầu vào với n phương; x_i^l và x_i^u là cận dưới và cận trên của biến x_i .

Nhằm giải quyết bài toán này, các thuật toán tìm kiếm tối ưu (cực trị) thường được phát triển bởi các chuyên gia, ít nhiều có kiến thức về Toán học. Rất nhiều thuật toán tối ưu hóa đã được phát triển, nhằm đáp ứng các bài toán tối ưu hóa đa dạng của thực tiễn. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng 2 nhóm thuật toán tìm kiếm rất mạnh và được sử dụng rộng rãi trong thực tế để giải quyết bài toán tối ưu hóa thiết kế, gồm có:

- Thuật toán tìm kiếm bầy đàn (Particle swarm Optimization);
- Thuật toán di truyền đa mục tiêu (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II – viết tắt NSGA II).

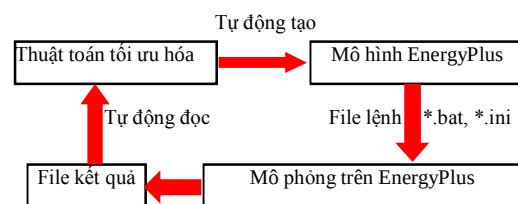
Các thuật toán này đã được lập trình sẵn trong các gói phần mềm GenOpt [5] và MOBO [6]. Hai thuật toán này sẽ được áp dụng trong 2 trường

hợp thiết kế công trình với các mục đích khác nhau.

2.3 Kết nối thuật tối ưu hóa với mô hình năng lượng công trình

Trong nghiên cứu này, chương trình EnergyPlus – được phát triển bởi Bộ Năng lượng Mỹ - được sử dụng để mô phỏng tính toán hiệu quả năng lượng các công trình. EnergyPlus là chương trình được dùng nhiều nhất trong các nghiên cứu tối ưu hóa [2]. Các thông số đầu vào cho mô hình công trình trong EnergyPlus là các thông số thiết kế, được quyết định bởi các KTS và kỹ sư. Mô phỏng cho ra nhiều thông số kết quả như: năng lượng tiêu thụ, tiện nghi nhiệt, tác động môi trường của công trình...

Nhằm tối ưu hóa hiệu năng công trình, chúng tôi kết hợp EnergyPlus với các thuật toán tìm kiếm tối ưu để đi tìm giải pháp thiết kế cho hiệu năng tối ưu. Kết quả mô phỏng hiệu năng chính là hàm $f_i(X)$; các giải pháp thiết kế là các biến X_o ; kết quả tối ưu hóa chính là giải pháp thiết kế tốt nhất. Để đạt được điều này, các giải pháp thiết kế khác nhau lần lượt được thay thế vào mô hình công trình trong EnergyPlus. EnergyPlus thực hiện mô phỏng và cho ra từng kết quả tương ứng. Các thuật toán tối ưu hóa có nhiệm vụ đánh giá từng kết quả và đưa ra các giải pháp thiết kế mới theo hướng cải thiện hiệu năng công trình. Quá trình nói trên lặp đi lặp lại cho đến khi hiệu năng của công trình không thể cải thiện thêm. Kết quả cuối cùng là phương án thiết kế tối ưu.



Hình 2. Vòng lặp kết nối EnergyPlus với thuật toán tối ưu hóa

Nhằm duy trì một cách tự động vòng lặp “mô phỏng – đánh giá hiệu năng – mô phỏng” cho đến khi đạt kết quả tối ưu, chúng tôi viết các file lệnh (*.bat hoặc *.ini) để tái khởi động EnergyPlus sau mỗi vòng lặp, tự động ghi file mô phỏng và tự động xóa các file kết quả mỗi khi đã sử dụng xong. Vòng lặp và các công việc chính của một vòng lặp được giới thiệu trong Hình 2.

2.4 Các trường hợp nghiên cứu

Nghiên cứu này chọn đối tượng là các công trình đã có sẵn với mục đích so sánh hiệu năng công trình sau khi tối ưu hóa với hiệu năng thực tế đang có (bằng cách quan trắc đo đạc).

Đối tượng nghiên cứu thứ nhất là một căn hộ chung cư thu nhập thấp điển hình thông gió tự nhiên. Căn hộ này có 2 phòng ngủ - 53 m² - thuộc một tòa chung cư 7 tầng dành cho người tái định cư ở quận Sơn Trà, thành phố Đà Nẵng (xem chi tiết căn hộ trong Hình 3). Hàm mục tiêu của quá trình tối ưu hóa là hàm bất tiện nghi nhiệt (một dạng của bài toán tối ưu hóa một mục tiêu – giảm thiểu bất tiện nghi nhiệt). Bất tiện nghi nhiệt được xác định bằng mô hình tiện nghi nhiệt thích ứng, phát triển cho công trình thông gió tự nhiên trong vùng Đông Nam Á [7]. Mô hình tiện nghi nhiệt này là:

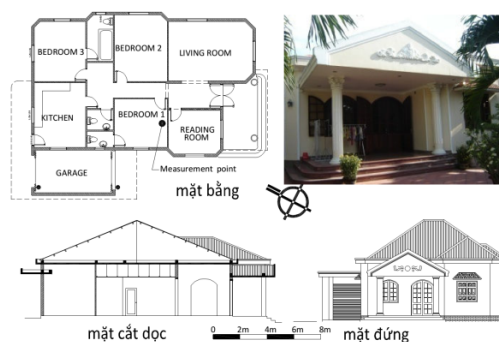
$$T_{\text{tiện-nghi}} = 0.341T_{\text{TB-thang}} + 18.83 \quad (1)$$

Ví dụ, Hà Nội có nhiệt độ trung bình tháng Ba là 20°C, theo công thức trên, nhiệt độ tiện nghi tương ứng cho người Hà Nội trong tháng Ba là 25.7°C. Độ rộng của dải tiện nghi thay đổi từ 5.7°C đến 7.0°C quanh nhiệt độ tiện nghi (tùy theo mùa). Nhiệt độ không khí không nằm trong dải này được coi là gây bất tiện nghi nhiệt.



Hình 3. Chi tiết căn hộ được chọn nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu thứ hai là một ngôi nhà biệt lập với 3 phòng ngủ, 1 phòng khách, 1 phòng làm việc, bếp và các phòng vệ sinh, hành lang (xem Hình 4) ở quận Ngũ Hành Sơn, TP Đà Nẵng. Công trình được trang bị hệ thống điều hòa cục bộ kiểu 2 giàn nóng lạnh riêng biệt. Nhiệt độ kích hoạt hoạt động điều hòa được thiết lập theo tiêu chuẩn tiện nghi nhiệt ISO 7730 – 2005 (tiêu chuẩn dựa trên mô hình tiện nghi nhiệt PMV-PPD của cố Giáo sư P.O. Fanger).



Hình 4. Chi tiết ngôi nhà biệt lập cho nghiên cứu

Do ngôi nhà sử dụng điều hòa, mục tiêu thiết kế là phải giảm thiểu mức năng lượng sử dụng hàng năm của công trình, gồm có điện chiếu sáng (được thiết lập theo tiêu chuẩn ASHRAE 90.1 – 2007, với mức tiêu thụ bình quân 12 W/m²), điện dùng cho thiết bị trong nhà và điện cho hệ thống điều hòa không khí. Ngoài ra, mục tiêu của nghiên cứu thứ hai này còn đồng thời giảm thiểu giá thành xây dựng công trình, đáp ứng khả năng

chi trả của người dân. Như vậy, 2 hàm mục tiêu của quá trình tối ưu hóa gồm hàm năng lượng tiêu thụ hàng năm và hàm giá thành xây dựng công trình. Đây là một bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu, trong đó 2 mục tiêu cần tối ưu hóa đối lập nhau (giảm giá thành xây dựng có nguy cơ dẫn đến công trình có hiệu năng kém, tiêu thụ nhiều năng lượng và ngược lại).

Các thông số thiết kế của hai công trình nói trên được liệt kê trong Bảng 1 – 4. Mỗi công trình có từ 13 đến 15 tham số cần được lựa chọn. Giá trị min-max của các tham số này được xác định trên cơ sở của kết quả cân chỉnh mô hình công trình trong EnergyPlus, cho ra kết quả mô phỏng tương thích cao nhất với kết quả quan trắc (xem quá trình cân chỉnh trong tài liệu [8]). Tổ hợp của các tham số này cho ra hàng tỷ giải pháp thiết kế khác nhau. Phương pháp tối ưu hóa sẽ giúp chọn ra những giải pháp tối ưu nhất trong số đó. Trong Bảng 4, giá thành của các cấu kiện xây dựng được tính theo đơn giá ban hành bởi Bộ Xây dựng [9].

Bảng 1. Các tham số thiết kế tham gia vào quá trình tối ưu hóa trong công trình căn hộ chung cư (ở dạng biến liên tục)

Thông số thiết kế [đơn vị đo]	Tên biến	Min	Max
Hệ số hấp thụ bức xạ mặt trời (màu sơn)	x_1	0.25	0.75
Độ rò khí – cửa sổ [kg/s-m]	x_2	0.004	0.012
Độ rò khí – cửa đi ra balcony [kg/s-m]	x_3	0.004	0.012
Bề rộng cửa sổ P. Ngủ 1 (cao 1.42m) [m]	x_4	1.2	2.2
Bề rộng cửa sổ P. Ngủ 2 (cao 1.42m) [m]	x_5	1.2	2.2

Độ rộng ô văng cửa sổ 1 [m]	x_6	0	0.8
Độ rộng ô văng cửa sổ 2 [m]	x_7	0	0.8
Tấm che nắng ngang hướng Đông bổ sung [m]	x_8	0	0.6
Tấm che nắng ngang hướng Tây bổ sung [m]	x_9	0	0.6

Bảng 2. Các lựa chọn thiết kế tham gia vào quá trình tối ưu hóa trong công trình căn hộ chung cư (ở dạng biến rời rạc)

Yếu tố	Các lựa chọn khi thiết kế	Tên biến	Giá trị gán
Tường ngoài	Tường gạch 110	x_{10}	100
	Tường gạch 220		101
	Tường gạch 2 lớp 220 – cách nhau 20		102
	Tường gạch 2 lớp 220 - xốp cách nhiệt 10		103
	Tường gạch 2 lớp 220 - xốp cách nhiệt 20		104
	Tường gạch 2 lớp 220 - xốp cách nhiệt 30		105
	Tường gạch 2 lớp 220 - xốp cách nhiệt 40		106
Kiểu cửa sổ	Kính trong suốt 5 mm	x_{11}	200
	Kính dán film cách nhiệt màu đồng 6 mm		201
	Kính trong 2 lớp có không khí ở giữa		202
	Kính 2 lớp có film cách nhiệt		203
	Kính phản quang 2 lớp – có Argon ở giữa		204

Thông gió	9 chiến lược thông gió khác nhau (thông gió theo mùa, theo ngày hoặc đêm)	x_{12}	400 đến 409
Khối nhiệt trong nhà*	Tường ngăn dày 100	x_{13}	600
	Tường ngăn dày 170		601
	Tường ngăn dày 240		602
	Tường ngăn dày 310		603

*Khối nhiệt này bổ sung thêm cho khối nhiệt sẵn có của nhà (gồm tường ngoài, sàn và trần BTCT...)

Bảng 3. Các tham số thiết kế của công trình ngôi nhà biệt lập (các biến số liên tục)

Thông số thiết kế [đơn vị đo]	Tên biến	Min	Max
Hệ số hấp thu bức xạ mặt trời tường (màu sơn)	x_1	0.25	0.75
Hệ số hấp thu bức xạ mặt trời mái (màu sơn)	x_2	0.25	0.75
Độ rò khí các phòng ngủ [m^3/s]	x_3	0.002	0.01
Độ rò khí các phòng còn lại [m^3/s]	x_4	0.002	0.01
Độ kín khí – hầm mái [m^3/s]	x_5	0.004	0.01
Chiều cao cửa sổ hướng Đông [m]	x_6	1.2	1.8
Chiều cao cửa sổ hướng Tây [m]	x_7	1.2	1.8
Chiều cao cửa sổ hướng Bắc và Nam [m]	x_8	1.2	1.8
Độ rộng mái hắt của sổ hướng Đông [m]	x_9	0.2	0.8
Độ rộng mái hắt của sổ hướng Tây [m]	x_{10}	0.2	0.8

Bảng 4. Các lựa chọn thiết kế của công trình ngôi nhà biệt lập (các biến số rời rạc)

Yếu tố	Các lựa chọn khi thiết kế	Giá trị gán	Giá thành (\$/m ²)
Tường ngoài x_{11}	Tường gạch 110	100	20
	Tường gạch 220	101	28
	Tường gạch 220 – cách nhau 20	102	29
	Tường gạch 220 - xốp cách nhiệt 10	103	30
	Tường gạch 220 - xốp cách nhiệt 20	104	32.5
	Tường gạch 220 - xốp cách nhiệt 30	105	35
	Tường gạch 220 - xốp cách nhiệt 40	106	38
Kiểu cửa sổ x_{12}	Kính trong suốt 5 mm	200	43
	Kính dán film cách nhiệt màu đồng 6 mm	201	60
	Kính trong 2 lớp - không khí ở giữa	202	90
	Kính 2 lớp có film cách nhiệt	203	115
	Kính phản quang 2 lớp – Argon ở giữa	204	135
Kiểu mái nhà x_{13}	Mái tôn	300	11
	Mái tôn + cách nhiệt 1cm	301	13.5
	Mái tôn + cách nhiệt 2cm	302	15
	Mái tôn + cách nhiệt 3cm	303	16.5
	Mái tôn + cách nhiệt 4cm	304	18.5
	Nền bê tông lát gạch	500	34

Kiểu nền nhà X_{14}	Nền bê tông + cách nhiệt 1cm + lát gỗ ván sàn	501	43.5
	Nền bê tông + cách nhiệt 2cm + lát gỗ ván sàn	502	45
	Nền bê tông + cách nhiệt 3cm + lát gỗ ván sàn	503	47
Khối nhiệt trong nhà X_{15}	Tường dày 100	600	20
	Tường dày 170	601	26
	Tường dày 240	602	31
	Tường dày 310	603	36.5

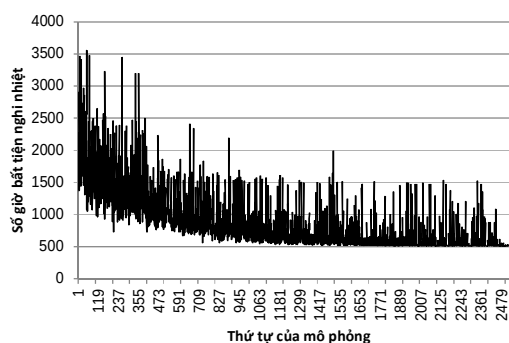
Một số giải pháp thiết kế khác có thể cải thiện hiệu năng công trình, nhưng đòi hỏi phải có thay đổi căn bản hình thức kiến trúc (ví dụ: mở cửa mái để thông gió hầm mái), chưa được chúng tôi xét đến do vấn đề này vượt ra khỏi khả năng của phương pháp tối ưu hóa đang xét.

3. KẾT QUẢ CỦA NGHIÊN CỨU

3.1 Kết quả tối ưu hóa thiết kế căn hộ chung cư

Chúng tôi thực hiện mô phỏng và tối ưu hóa trong suốt 1 năm cho 3 địa phương đại diện cho 3 miền khí hậu ở Việt Nam là Hà Nội ở miền Bắc, Đà Nẵng ở miền Trung, và TP Hồ Chí Minh ở miền Nam.

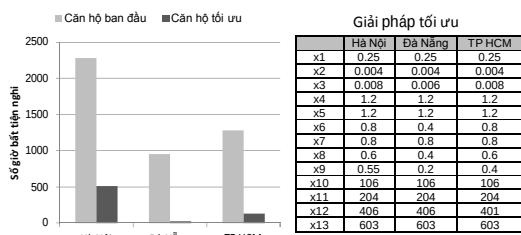
Biểu đồ trong Hình 5 mô tả một quá trình tối ưu hóa điển hình, qua đó hiệu năng công trình được dần cải thiện (số giờ bất tiện nghi nhiệt trong năm giảm dần). Quá trình tối ưu hóa kết thúc khi kết quả không thể cải thiện thêm sau khoảng 2500 mô phỏng. Giải pháp thiết kế đạt được cuối cùng là giải pháp có tiện nghi nhiệt cao nhất.



Hình 5. Một quá trình tối ưu hóa điển hình bằng thuật toán tối ưu hóa bầy đàn, trong đó có hơn 2500 mô phỏng đã được thực hiện liên tục trong khoảng 22 giờ trên hệ thống CPU 4x2.53 GHz, 4 Gb RAM

Hình 6 giới thiệu kết quả tối ưu hóa căn hộ tại cả 3 địa phương. So với căn hộ nguyên bản, các phương án tối ưu đã giảm thời gian bất tiện nghi rất nhiều. Đặc biệt trong trường hợp của Đà Nẵng, căn hộ gần như tiện nghi quanh năm. Ở TP Hồ Chí Minh, số giờ bất tiện nghi chỉ còn 128 giờ. Riêng Hà Nội, số giờ bất tiện nghi tối thiểu là 514 giờ, và Hà Nội cần thêm một số biện pháp kiểm soát môi trường chủ động (sưởi hoặc điều hòa) để căn hộ đảm bảo tiện nghi quanh năm. Qua kết quả này, chúng ta thấy rằng phương pháp thiết kế có tối ưu hóa đem lại hiệu quả cao mà một thiết kế thông thường khó lòng đạt được.

Giải pháp thiết kế tối ưu cho 3 địa phương cũng được trình bày trong Hình 6. Từ các giải pháp này, người thiết kế cũng có thể rút ra được các kinh nghiệm của mô hình tối ưu và áp dụng cho các công trình tương tự.

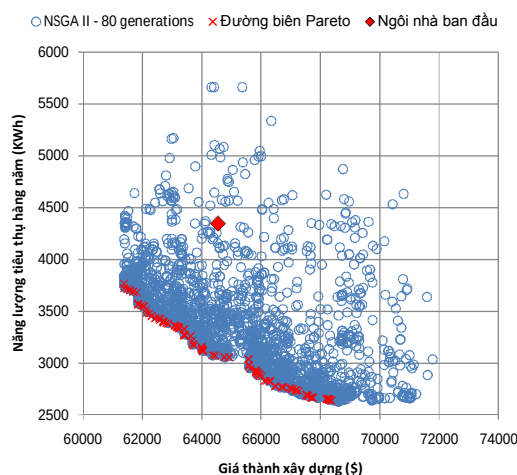


Hình 6. Kết quả tối ưu hóa thiết kế căn hộ chung cư và hiệu năng sau tối ưu hóa

Yêu cầu về tiện nghi nhiệt là một tiêu chí quan trọng đánh giá chất lượng môi trường bên trong công trình của các công cụ đánh giá công trình xanh như LEED hoặc LOTUS. Với phương pháp tối ưu hóa, người thiết kế có thể tạo ra công trình thông gió tự nhiên mà vẫn tiện nghi về nhiệt quanh năm.

3.2 Kết quả tối ưu hóa thiết kế ngôi nhà biệt lập

Thuật toán sử dụng trong quá trình này là thuật toán di truyền đa mục tiêu (Non-dominated Sorting Genetic algorithm – NSGA-II). Thuật toán này được thiết kế để tối ưu hóa nhiều mục tiêu đối lập đồng thời và nhanh chóng xác định được các giải pháp tối ưu nhất. Thuật toán được thiết lập để quá trình tiến hóa diễn ra liên tục qua 80 thế hệ, mỗi thế hệ có 30 cá thể khác nhau, tỷ lệ đột biến gen trong quần thể là 2%, xác suất lai chéo là 10%. Tổng cộng có 2400 mô phỏng liên tục đã thực hiện trong khoảng 16h. Hình 7 giới thiệu kết quả quá trình tối ưu hóa thiết kế ngôi nhà biệt lập trong điều kiện khí hậu ở Đà Nẵng. Một chấm tròn trên biểu đồ là một giải pháp thiết kế với giá thành xây dựng và mức tiêu thụ năng lượng tương ứng. Giải pháp thiết kế hiện tại có mức hiệu năng thể hiện bằng chấm vuông đỏ trong Hình 7 (giá thành 64549 US\$ và tiêu thụ 4348 kWh điện một năm).



Hình 7. Kết quả quá trình tối ưu hóa ngôi nhà biệt lập và vị trí các giải pháp tối ưu trên đường biên Pareto (Pareto front)

Hình 7 cho thấy quá trình tối ưu hóa đưa các giải pháp thiết kế dần về góc tọa độ. Do hai mục tiêu cần tối ưu hóa là “Mức năng lượng tiêu thụ hàng năm” và “Giá thành xây dựng công trình” là những mục tiêu đối lập nhau, nên không thể có một giải pháp tối ưu cho cả hai mục tiêu này. Giải pháp tối ưu đạt được không chỉ có một mà nhiều giải pháp nằm trên đường biên Pareto trong Hình 7 (các dấu x màu đỏ). Giải pháp A có mức năng lượng tiêu thụ tối ưu đạt 2639 kWh (giảm 39,3% so với mức hiện trạng) nhưng chi phí xây dựng bị đội lên thành 68379 US\$. Giải pháp B có giá thành tối ưu có chi phí xây dựng là 61381 US\$ - giảm 5% so với giá công trình hiện tại) nhưng mức tiêu thụ năng lượng cao hơn A – 3768 kWh. Cả hai giải pháp A và B đều tốt hơn so với giải pháp hiện tại.

Nằm giữa giải pháp A và B, trên đường biên Pareto, còn có rất nhiều giải pháp tối ưu dung hòa cả 2 mục tiêu. Người thiết kế hoàn toàn có thể chọn lựa một trong số chúng để thiết kế công trình. Tuy nhiên, dưới góc nhìn bảo vệ môi trường, giải pháp A là giải pháp mang lại lợi ích tài chính lâu dài cho chủ đầu tư và hạn chế phát

thải carbon tốt nhất mặc dù chi phí đầu tư ban đầu hơi cao. Giải pháp A cũng là giải pháp tốt nhất nếu đánh giá theo tiêu chí công trình xanh như LEED hoặc LOTUS với mức điểm thưởng rất cao.

4. BÀN LUẬN VÀ KẾT LUẬN

Thiết kế kiến trúc công trình là một quá trình liên quan đến nhiều tiêu chí và các mục tiêu khác nhau, đôi khi đối lập nhau như “giá thành” và “hiệu năng”, “tiện nghi” và “thẩm mỹ” của công trình... Quá trình này do đó đòi hỏi người thiết kế cần được trang bị những phương pháp thiết kế tốt hơn nhằm kiểm soát tốt hiệu năng công trình và tối ưu hóa chúng.

Bài báo này giới thiệu kết quả bước đầu của nghiên cứu nhằm đưa phương pháp tối ưu hóa vào quá trình thiết kế công trình. Kết quả của

nghiên cứu là một quy trình thiết kế tích hợp: thiết kế mô hình CAD + thiết kế mô hình năng lượng + tối ưu hóa mô hình năng lượng. Quy trình thiết kế này tuy phức tạp hơn quy trình truyền thống, nhưng đem lại nhiều lợi ích (cho cả chủ đầu tư và cộng đồng) và đáp ứng được các tiêu chí nghiêm ngặt của công trình xanh.

Bài báo cũng đã giới thiệu hai trường hợp nghiên cứu điển hình là các công trình thực tế đã xây dựng. Kết quả quá trình tối ưu hóa cho thấy nếu các công trình này được tối ưu hóa thì cả giá thành lẫn hiệu năng công trình đều được cải thiện rõ rệt. Các thuật toán tối ưu hóa đã được phát triển sẵn có khả năng giải quyết nhiều bài toán tối ưu đa dạng trong lĩnh vực kiến trúc nói riêng và trong nhiều lĩnh vực kỹ thuật khác.

Applications of optimization methods in designing energy-efficient buildings

- Anh-Tuan Nguyen¹
- Thi-Kim-Dung Le¹
- Tien-Vinh Phan²

¹Faculty of Architecture, University of Science and Technology, the University of Danang

²Department of Civil Engineering, College of Technology, the University of Danang

ABSTRACT

Energy efficiency in buildings is one of the top criteria, accounting for a large weight in the evaluation criteria of Green building rating tools such as LEED, BREEAM, LOTUS, ... Therefore high energy saving is the most important objective that green buildings should achieve. This article provides an overview of optimization methods in mathematics (problems of finding maxima, minima of a function) and the development of applications so as to integrate it into building design. Two typical case studies are

used to illustrate the design method. The first is a naturally ventilated apartment building whose design is optimized with the particle swarm optimization, achieving maximum thermal comfort. The second case was a multi-objective optimization problem, in which an air-conditioned dwelling is optimized by an evolutionary algorithm to minimize energy consumption while still maintaining reasonable construction cost.

Keywords: optimization, green building, energy efficiency, thermal comfort, housing.

REFERENCES

- [1]. Nguyen AT, Thiết kế kiến trúc xanh với hỗ trợ bởi các công cụ mô phỏng hiệu năng công trình (BPS), *Tạp chí Kiến trúc*, 5, 13-18, 2012.
- [2]. Nguyen AT, Reiter S and Rigo P, A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis, *Applied Energy*, 113, 1043-1058, 2014.
- [3]. Nguyen AT, Tối ưu hóa tiện nghi nhiệt trong căn hộ chung cư được thông gió tự nhiên, *Tạp chí Khoa học Kiến trúc và Xây dựng*, 17, 9-13, 2015.
- [4]. Nguyen AT, Công trình xanh London 2012 Velodrome đã được thiết kế như thế nào?, *Tạp chí Kiến trúc*, 237, 89-94, 2015.
- [5]. Wetter M, GenOpt - A generic optimization program, *Proceedings of IBPSA's Building Simulation 2001 Conference*. Rio de Janeiro, 601-608, 2001.
- [6]. Palonen M, Hamdy M and Hasan A, Mobo

- a new software for multi-objective building performance optimization, *Proceedings of the 13th International Conference of the IBPSA*. Chambéry, 2567-2574, 2013.
- [7]. A. T. Nguyen, M. K. Singh and S. Reiter, An adaptive thermal comfort model for hot humid South-East Asia, *Building and Environment*, 56, 291-300, 2012.
- [8]. A. T. Nguyen and S. Reiter, An investigation on thermal performance of a low cost apartment in hot humid climate of Danang, *Energy and Buildings*, 47, 237-246, 2012.
- [9]. Giá thành xây dựng ngày 9 tháng 8 năm 2011, Xem tại www.moc.gov.vn [Truy cập tháng 8/2011], Bộ Xây dựng, 2011.