

Giải pháp giảm thiểu phát thải các-bon vận hành trong các tòa nhà văn phòng

Nguyễn Thị Huệ^{1,2*}, Nguyễn Huy Tiến^{1,2}, Nguyễn Đức Lượng^{1,2}, Nguyễn Văn Duy^{1,2}, Hoàng Xuân Hòa^{1,2}

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

²Nhóm nghiên cứu ReCAS, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

TỪ KHOÁ

Lĩnh vực tòa nhà
Hệ thống kỹ thuật trong công trình
Tiết kiệm năng lượng
Các-bon vận hành
Phát thải ròng bằng không

TÓM TẮT

Phát triển các tòa nhà phát thải ròng bằng không đã và đang được triển khai ở nhiều nước trên thế giới nhằm hướng tới đạt được mục tiêu phát thải ròng bằng không trong ngành xây dựng và/hoặc lĩnh vực tòa nhà. Để giảm thiểu phát thải các-bon cho các tòa nhà cần thực hiện đồng thời các giải pháp giảm thiểu phát thải các-bon hàm chứa và các-bon vận hành. Nghiên cứu này đã thực hiện các hoạt động khảo sát, đánh giá hiện trạng tiêu thụ năng lượng của hệ thống kỹ thuật (hệ thống thông gió, điều hòa không khí; chiếu sáng; bơm...) trong các tòa nhà văn phòng cũng như hiệu quả áp dụng của một số giải pháp tiết kiệm năng lượng trong các tòa nhà văn phòng ở Việt Nam. Dựa trên các kết quả này, nghiên cứu đã đề xuất một số giải pháp nhằm giảm thiểu tiêu thụ năng lượng và phát thải các-bon trong quá trình vận hành của các tòa nhà văn phòng.

KEYWORDS

Building sector
Building services
Energy-saving
Operational carbon
Net-zero carbon emission

ABSTRACT

The development of net-zero carbon buildings has been implemented in many countries around the world towards achieving the goal of net-zero emission in the construction industry and/or building sector. To mitigate carbon emissions for buildings, it is necessary to simultaneously implement solutions to minimize emissions of embodied carbon and operational carbon. This study has conducted surveys and evaluated the current status of energy consumption of building technical systems (ventilation, air conditioning; lighting; pumping...) in office buildings as well as the efficiency of applying energy-saving solutions in office buildings in Vietnam. Based on these results, the study has proposed some solutions to minimize energy consumption and carbon emissions during the operation of office buildings.

1. Giới thiệu chung

Từ năm 2018, Hội đồng công trình xanh thế giới (WorldGBC) đã khởi động chương trình cam kết thực hiện tòa nhà phát thải ròng bằng không (NZCB) nhằm thúc đẩy các hành động khí hậu từ các doanh nghiệp, tổ chức, thành phố và chính quyền địa phương trong việc khử các-bon trong lĩnh vực tòa nhà. Hội nghị COP26 tổ chức vào tháng 11/2021 tại Glasgow, Scotland, Vương quốc Anh đã đánh dấu một mốc quan trọng để mang lại sự đồng thuận của các quốc gia trong việc phát triển NZCB. Trong năm 2022, Viện Tài nguyên Thế giới (WRI) khởi động Chương trình Tăng tốc Tòa nhà phát thải ròng bằng không (ZCBA) được Quỹ Môi trường Toàn cầu và Chương trình Môi trường Liên Hợp Quốc hỗ trợ. Bên cạnh đó, một xu hướng mới ở một số quốc gia phát triển (Anh, Đức, Ba Lan, Ai-len, Thụy Điển, Canada, Mỹ) đó là xây dựng và thực hiện lộ trình hướng tới ngành xây dựng đạt mức phát thải ròng bằng không, khử các-bon trong ngành xây dựng và đạt được NZCB vào năm 2050 với cách tiếp cận đánh giá toàn bộ vòng đời của tòa nhà gồm tất cả các giai đoạn (quy hoạch, thiết kế, xây dựng, vận hành, phá dỡ). Một loạt các quốc gia phát triển và đang phát triển đã tham gia sáng kiến “ZCBA” và cam kết thực hiện NZCB với mục tiêu đến năm 2030: các tòa nhà xây dựng mới đạt NZCB và đến năm 2050 tất cả các tòa nhà (xây dựng mới & đang sử dụng) đạt NZCB. Trong Dự thảo sửa đổi

Chỉ thị về Hiệu suất Năng lượng Tòa nhà (EPBD) của Ủy ban Châu Âu đã đưa ra yêu cầu đạt được NZCB dự kiến được áp dụng từ ngày 1/1/2027 đối với tất cả các tòa nhà xây dựng mới từ vốn đầu tư công và từ ngày 1/1/2030 đối với tất cả các tòa nhà xây dựng mới.

Ở Việt Nam, ngành Xây dựng giữ một vai trò quan trọng trong cơ cấu nền kinh tế và có sự liên quan đến nhiều ngành, lĩnh vực khác. Tiêu thụ năng lượng trong lĩnh vực xây dựng bao gồm khu vực công nghiệp và dân dụng chiếm khoảng 37-40 % tổng tiêu thụ năng lượng quốc gia [1]. Cùng với các ngành kinh tế khác, ngành Xây dựng đóng một vai trò quan trọng trong thực hiện các mục tiêu tăng trưởng xanh của nước ta như được nêu trong “Chiến lược Quốc gia về Tăng trưởng xanh giai đoạn 2021-2030, tầm nhìn 2050” (ban hành theo Quyết định số 1658/QĐ-TTg ngày 01/10/2021 của Thủ tướng Chính phủ). Theo Nghị định số 06/2022/NĐ-CP ngày 07/01/2022 của Chính phủ “Quy định giảm nhẹ phát thải khí nhà kính và bảo vệ tầng ô-dôn”, cắt giảm phát thải khí nhà kính đối với các lĩnh vực của ngành Xây dựng (các quá trình công nghiệp, sản xuất xi măng, tòa nhà) với con số trên 74 triệu tấn đóng vai trò quan trọng trong việc thực hiện mục tiêu giảm nhẹ phát thải khí nhà kính tối thiểu giai đoạn đến năm 2030 cũng như hướng tới đạt được mục tiêu phát thải ròng bằng không vào năm 2050 của Việt Nam.

Đối với Việt Nam, để thực hiện mục tiêu giảm thiểu phát thải khí

*Liên hệ tác giả: huent@huce.edu.vn

Nhận ngày 15/10/2025, sửa xong ngày 13/11/2025, chấp nhận đăng ngày 14/11/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.06.2025.1191>

nhà kính (hay giảm thiểu phát thải các-bon) từ lĩnh vực tòa nhà, một trong những giải pháp quan trọng là cần thúc đẩy phát triển mô hình NZCB theo các nhiệm vụ chiến lược, trọng tâm đã được đặt ra trong “Kế hoạch hành động quốc gia về tăng trưởng xanh giai đoạn 2021 – 2030” (Quyết định số 882/QĐ-TTg) và “Kế hoạch hành động của ngành Xây dựng ứng phó với biến đổi khí hậu giai đoạn 2022 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050 thực hiện cam kết của Việt Nam tại COP26” (Quyết định số 385/QĐ-BXD). Theo “Kế hoạch hành động quốc gia về tăng trưởng xanh giai đoạn 2021 – 2030”, một trong những nhiệm vụ chiến lược đối với ngành xây dựng là thúc đẩy phát triển NZCB, bên cạnh việc tiếp tục phát triển công trình xanh, công trình sử dụng hiệu quả năng lượng, công trình phát thải các-bon thấp.

Theo cách tiếp cận của WRI [2] để giảm thiểu phát thải các-bon cho các tòa nhà cần thực hiện đồng thời các giải pháp giảm thiểu phát thải các-bon hàm chứa và các-bon vận hành. Một số giải pháp góp phần giảm phát thải các-bon hàm chứa bao gồm: cải tạo các tòa nhà đang sử dụng thay vì xây dựng mới; lựa chọn các loại vật liệu phát thải thấp cho tòa nhà; lựa chọn áp dụng các giải pháp, công nghệ xây dựng ít phát thải trong quá trình xây dựng, cải tạo tòa nhà. Giảm phát thải các-bon vận hành thông qua giảm thiểu và tối ưu hóa nhu cầu năng lượng. Các giải pháp giảm phát thải các-bon vận hành bao gồm: sử dụng hiệu quả năng lượng để đảm bảo rằng các tòa nhà được vận hành hiệu quả nhất có thể - đây là cách tiếp cận hợp lý nhất và được ưu tiên thực hiện trước tiên; tăng cường giải pháp sử dụng năng lượng tái tạo (tại chỗ hoặc bên ngoài) để đáp ứng sự cân bằng nhu cầu năng lượng với nguyên tắc các nguồn năng lượng tái tạo tại chỗ được ưu tiên sử dụng trước so với các nguồn năng lượng tái tạo bên ngoài. Giải pháp sử dụng năng lượng tái tạo cũng được ưu tiên thực hiện trước khi áp dụng các giải pháp bù trừ các-bon.

Để cung cấp thêm các cơ sở khoa học và thực tiễn cho việc thực hiện các giải pháp nhằm giảm thiểu phát thải các-bon vận hành trong các tòa nhà văn phòng ở Việt Nam, mục tiêu chính của nghiên cứu này bao gồm: (1). Thực hiện khảo sát và đánh giá hiện trạng tiêu thụ năng lượng của hệ thống kỹ thuật trong các tòa nhà văn phòng; (2). Đánh giá hiệu quả áp dụng của một số giải pháp tiết kiệm năng lượng trong các tòa nhà văn phòng; (3). Đề xuất một số giải pháp giảm thiểu phát thải các-bon trong quá trình vận hành tòa nhà văn phòng.

2. Đánh giá hiện trạng tiêu thụ năng lượng của hệ thống kỹ thuật trong các tòa nhà văn phòng

2.1. Hoạt động khảo sát công trình tòa nhà văn phòng

Nhóm nghiên đã tiến hành khảo sát 30 công trình văn phòng để thu thập thông tin về đặc điểm các hệ thống kỹ thuật trong công trình (hệ thống HVAC, chiếu sáng, cấp nước nóng...). Thông tin được thu thập từ các nguồn sơ cấp (các công trình được khảo sát trực tiếp) và nguồn thứ cấp (báo cáo dự án đầu tư, báo cáo kỹ thuật, dự án, ...), được xử lý và tổng hợp để đánh giá hiện trạng tiêu thụ năng lượng của tòa nhà văn phòng, các hệ thống kỹ thuật (hệ thống điều hòa không khí, thông gió; hệ thống chiếu sáng; các hệ thống khác như máy bơm, thang

máy, thang cuốn, hệ thống thông tin liên lạc và an toàn, an ninh, điều khiển và tự động hóa) trong các tòa nhà văn phòng và hiện trạng áp dụng các giải pháp sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả của các tòa nhà văn phòng ở Việt Nam.

2.2. Đánh giá hiện trạng tiêu thụ năng lượng của các hệ thống kỹ thuật trong công trình tòa nhà văn phòng

2.2.1. Hệ thống điều hòa không khí

Các tòa nhà văn phòng hiện nay hầu hết sử dụng hệ thống điều hòa không khí trung tâm do diện tích xây dựng lớn, yêu cầu công suất lạnh lớn, hệ số hoạt động đồng thời cao. Phương án thiết kế điển hình áp dụng cho các tòa nhà văn phòng đó là:

- Hệ thống điều hòa không khí trung tâm sử dụng chiller giải nhiệt ngưng tụ bằng nước, kết hợp với các thiết bị xử lý không khí cục bộ FCU và thiết bị xử lý không khí trung tâm AHU.

- Hệ thống điều hòa không khí trung tâm VRV/VRF giải nhiệt ngưng tụ bằng không khí kết hợp với thiết bị xử lý không khí cục bộ FCU.

Một số công trình được thiết kế phối hợp sử dụng cả hệ điều hòa không khí trung tâm sử dụng chiller kết hợp hệ thống điều hòa trung tâm VRV/VRF để tối ưu chi phí vận hành theo đặc thù của công trình. Đối với một số phòng phụ trợ riêng biệt, máy điều hòa không khí cục bộ được sử dụng.

Không khí ngoài (gió tươi) cấp cho không gian điều hòa được thực hiện theo hai phương án là hệ thống cục bộ cấp gió ngoài riêng biệt theo tầng và hệ thống trung tâm cấp gió ngoài chung cho nhiều tầng hoặc toàn bộ công trình. Đối với một số công trình, để tiết kiệm năng lượng cần sử dụng để làm mát không khí ngoài, thiết bị thông gió thu hồi nhiệt (HRV) được sử dụng để làm lạnh sơ bộ không khí ngoài trước khi cấp vào.

Các hệ thống điều hòa không khí trung tâm đều được trang bị hệ thống điều khiển trung tâm đi kèm. Việc điều khiển, vận hành, cài đặt thông số điều hòa cho các phòng làm việc có thể thực hiện tại từng phòng hoặc từ phòng điều khiển trung tâm. Từ phòng điều khiển trung tâm có thể giám sát được hoạt động của cả hệ thống, của từng thiết bị, thuận tiện cho việc vận hành, kiểm soát hoạt động của hệ thống. Kết quả khảo sát về tiêu thụ điện của hệ thống điều hòa không khí được tổng hợp trong Bảng 1.

2.2.2. Hệ thống thông gió

Trong các công trình tòa nhà văn phòng được khảo sát có hai hệ thống thông gió, đó là hệ thống thông gió thông thường và hệ thống thông gió chống khói.

- Hệ thống thông gió thông thường: Thông gió hút mùi, hút nhiệt và các chất ô nhiễm phát sinh từ các khu vực, phòng trong tòa nhà như khu vệ sinh, khu bếp, phòng tập kết rác, các phòng kỹ thuật, gara để xe... Hệ thống thông gió thông thường trong công trình được điều khiển vận hành cùng với thời gian hoạt động của khu vực, phòng chức năng mà hệ thống phục vụ.

- Hệ thống thông gió chống khói: Hệ thống chống khói bao gồm hệ thống thông gió hút thải khói và hệ thống cấp không khí bù. Hệ thống thông gió chống khói, quạt và động cơ phải chịu được nhiệt độ cao; hệ thống đường ống và phụ kiện phải đáp ứng được yêu cầu về giới hạn chịu lửa theo quy định. Hệ thống vận hành theo tín hiệu báo cháy, hoặc bằng nút ấn khởi động cưỡng bức.

Với gara để xe, hệ thống thông gió thực hiện cả hai chức năng thông gió thông thường và thông gió chống khói.

Nguồn điện cấp cho các hệ thống thông gió trong tòa nhà văn phòng là nguồn ưu tiên, nguồn cấp cho hệ thống thông gió hút khói là nguồn sự cố. Kết quả khảo sát về tiêu thụ điện của hệ thống thông gió của các công trình tòa nhà văn phòng được tổng hợp trong Bảng 2.

2.2.3. Hệ thống chiếu sáng, ổ cắm

Chiếu sáng trong công trình tòa nhà văn phòng đều sử dụng chiếu sáng nhân tạo, đèn chiếu sáng lắp trên trần giả và phân bố đồng đều khắp diện tích sử dụng. Nguồn chiếu sáng hầu hết sử dụng đèn LED, khu vực văn phòng làm việc sử dụng đèn loại panel có kích thước 600x600. Các khu vực thiết kế trần thạch cao như phòng họp, sảnh, hành lang có sử dụng đèn loại downlight và đèn hắt khe trần.

Trong các công trình tòa nhà văn phòng được khảo sát hầu hết đều chưa được trang bị điều khiển tự động chiếu sáng. Chỉ một số công trình có khu vực thang bộ, thang thoát hiểm đèn chiếu sáng điều khiển bật tắt bằng cảm biến chuyển động. Nguồn điện cấp cho hệ thống chiếu sáng là nguồn ưu tiên. Kết quả khảo sát về tiêu thụ điện của hệ thống chiếu sáng, ổ cắm được tổng hợp trong Bảng 3.

2.2.4. Hệ thống bơm nước

Hệ thống bơm nước trong công trình bao gồm bơm cấp nước sinh hoạt, bơm nước thải và bơm nước dùng cho phòng cháy chữa cháy (PCCC). Nguồn điện cấp cho các bơm cấp nước sinh hoạt và bơm nước thải là nguồn ưu tiên, cấp cho bơm chữa cháy là nguồn sự cố. Kết quả khảo sát về tiêu thụ điện của hệ thống bơm nước được tổng hợp trong Bảng 4.

2.2.5. Hệ thống thang máy

Tất cả các tòa nhà văn phòng được khảo sát đều được lắp đặt thang máy. Thang máy sử dụng trong các công trình tòa nhà văn phòng không có sự khác biệt so với những công trình khác, mục đích chính để phục vụ giao thông theo phương đứng. Các công trình cao tầng đều bố trí thang máy phục vụ cho lực lượng PCCC. Nguồn điện cấp cho các thang máy tải khách là nguồn ưu tiên, cấp cho thang máy PCCC là nguồn sự cố. Kết quả khảo sát về tiêu thụ điện của hệ thống thang máy được tổng hợp trong Bảng 5.

2.2.6. Hệ thống kỹ thuật khác

Các hệ thống kỹ thuật khác trong các tòa nhà văn phòng bao gồm hệ thống cấp nước nóng, thông tin liên lạc, quản lý tòa nhà.... Nhu cầu sử dụng nước nóng trong các tòa nhà văn phòng rất thấp nên hầu như chỉ một số khu vực phụ trợ trong tòa nhà như khu dịch vụ, khu căng tin... có trang bị bình nước nóng cục bộ loại gián tiếp. Kết quả khảo sát về tiêu thụ điện của hệ thống kỹ thuật khác trong các tòa nhà văn phòng được tổng hợp trong Bảng 6.

Bảng 1. Thông số về tiêu thụ điện của hệ thống điều hòa không khí.

Thông số	Giá trị		
	Thấp nhất	Cao nhất	Trung bình
Tỉ lệ tiêu thụ điện của hệ thống điều hòa không khí trong công trình, %	25,80	56,20	42,25
Công suất tiêu thụ điện của hệ thống điều hòa không khí tính cho 1m ² diện tích không gian điều hòa, W/m ²	17,62	75,83	39,71

Bảng 2. Thông số về tiêu thụ điện của hệ thống thông gió.

Thông số	Giá trị		
	Thấp nhất	Cao nhất	Trung bình
Tỉ lệ tiêu thụ điện của hệ thống thông gió trong công trình, %	0,05	12,91	6,37
Công suất tiêu thụ điện của hệ thống thông gió tính cho 1m ² diện tích sàn, W/m ²	0,05	11,53	4,76

Bảng 3. Thông số về tiêu thụ điện của hệ thống chiếu sáng, ổ cắm.

Thông số	Giá trị		
	Thấp nhất	Cao nhất	Trung bình
Tỉ lệ tiêu thụ điện của hệ thống chiếu sáng, ổ cắm trong công trình, %	3,43	44,06	28,09
Công suất tiêu thụ điện của hệ thống chiếu sáng, ổ cắm tính cho 1m ² diện tích sàn, W/m ²	8,91	39,31	24,61

Bảng 4. Thông số về tiêu thụ điện của hệ thống bơm.

Thông số	Giá trị		
	Thấp nhất	Cao nhất	Trung bình
Tỉ lệ tiêu thụ điện của hệ thống bơm trong công trình, %	2,40	26,33	11,02
Công suất tiêu thụ điện của hệ thống bơm tính cho 1m ² diện tích sàn, W/m ²	0,80	25,48	9,17

Bảng 5. Thông số về tiêu thụ điện của hệ thống thang máy.

Thông số	Giá trị		
	Thấp nhất	Cao nhất	Trung bình
Tỉ lệ tiêu thụ điện của hệ thống thang máy trong công trình, %	1,74	7,62	4,87
Công suất tiêu thụ điện của hệ thống thang máy tính cho 1m ² diện tích sàn, W/m ²	0,58	8,79	4,12

Bảng 6. Thông số về tiêu thụ điện của hệ thống kỹ thuật khác.

Thông số	Giá trị		
	Thấp nhất	Cao nhất	Trung bình
Tỉ lệ tiêu thụ điện của hệ thống kỹ thuật khác trong công trình, %	1,22	28,64	9,64
Công suất tiêu thụ điện của hệ thống kỹ thuật khác tính cho 1m ² diện tích sàn, W/m ²	0,89	49,01	9,31

2.3. Đánh giá hiệu quả của một số giải pháp tiết kiệm năng lượng trong tòa nhà văn phòng

2.3.1. Giải pháp tiết kiệm năng lượng cho hệ thống chiếu sáng

Tất cả các công trình được khảo sát đều sử dụng loại đèn LED có hiệu suất chiếu sáng cao, tiết kiệm năng lượng. Do đặc điểm hệ thống cấp điện chiếu sáng của các công trình được thiết kế chung với cấp điện ổ cắm do vậy chưa thể đánh giá một cách riêng rẽ về mật độ công suất chiếu sáng (LPD). Công suất tiêu thụ điện của hệ thống chiếu sáng, ổ cắm trung bình chiếm tỉ lệ khoảng 28 % tổng công suất điện tiêu thụ của công trình. Theo số liệu điều tra của Dự án “Nâng cao Hiệu quả sử dụng Năng lượng trong các Tòa nhà thương mại và Nhà Chung cư Cao tầng tại Việt Nam” (EECB) thực hiện trong giai đoạn từ 2016 đến 2020, tỉ lệ công suất tiêu thụ điện cho hệ thống chiếu sáng, ổ cắm của các công trình tòa nhà văn phòng trung bình là 45,67 %. Như vậy, tỉ lệ tiêu thụ điện của phụ tải chiếu sáng và ổ cắm của các công trình văn phòng được khảo sát trong nghiên cứu này đã giảm đáng kể. Một trong những yếu tố dẫn đến việc giảm tỉ lệ tiêu thụ điện là xu hướng gia tăng sử dụng đèn LED trong các công trình văn phòng hiện nay.

Tuy nhiên kết quả khảo sát cũng cho thấy điều khiển chiếu sáng tự động và việc kết hợp chiếu sáng tự nhiên với chiếu sáng nhân tạo trong các tòa nhà văn phòng chưa được quan tâm đầu tư đúng mức. Đa số các công trình được khảo sát không có hệ thống điều khiển để tự động điều chỉnh chiếu sáng, việc bố trí đèn phân bố đồng đều; chỉ một số ít công trình trang bị cảm biến chuyển động để bật tắt đèn cho các khu vực công cộng như hành lang, cầu thang, nhà vệ sinh. Nếu được đầu tư hệ thống điều khiển tự động, thiết kế chiếu sáng nhân tạo kết hợp chiếu sáng tự nhiên cho các tòa nhà văn phòng trong điều kiện khí hậu Việt Nam, vẫn có tiềm năng rất lớn về tiết kiệm năng lượng từ hệ thống chiếu sáng. Theo số liệu khảo sát, 17/30 công trình có tỉ lệ diện

tích kết cấu bao che mặt ngoài là kính chiếm tỉ lệ trên 50 %, cho thấy tiềm năng tận dụng giải pháp chiếu sáng tự nhiên.

2.3.2. Giải pháp tiết kiệm năng lượng cho hệ thống điều hòa không khí

Hệ thống điều hòa không khí của các tòa nhà văn phòng đều được thiết kế vận hành với chế độ tự động điều chỉnh công suất theo tải lạnh yêu cầu. Có 06 công trình sử dụng hệ thống điều hòa không khí trung tâm chiller giải nhiệt ngưng tụ bằng nước; 17 công trình sử dụng hệ thống điều hòa không khí trung tâm VRV/VRF giải nhiệt ngưng tụ bằng không khí, 07 công trình phối hợp sử dụng cả hệ điều hòa không khí trung tâm chiller kết hợp hệ thống điều hòa trung tâm VRV/VRF để tối ưu chi phí vận hành theo đặc thù của công trình. Các hệ thống điều hòa này đều có hệ số hiệu quả năng lượng COP cao, đáp ứng quy định hiện hành theo QCVN 09:2017/BXD.

Tuy nhiên, kết quả khảo sát cho thấy việc áp dụng các giải pháp tiết kiệm năng lượng khác đối với hệ thống điều hòa không khí của các tòa nhà văn phòng còn nhiều hạn chế, chỉ có 02/30 công trình được khảo sát có sử dụng thiết bị thông gió thu hồi nhiệt HRV để làm mát không khí ngoài (khí tươi) cấp vào. Tuy nhiên, trong 02 công trình này, tỉ lệ tiêu thụ điện cho hệ thống điều hòa không khí, thông gió lần lượt là 37,80 % và 52,11 % tổng tiêu thụ điện của công trình, tức là tỉ lệ tiêu thụ năng lượng của hệ thống vẫn ở mức trung bình và cao.

2.3.3. Hệ thống quản lý tòa nhà

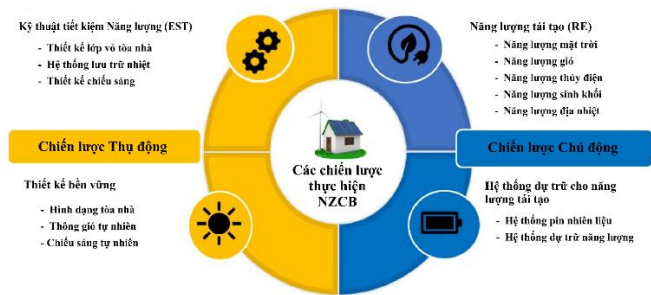
Trong số 30 công trình được khảo sát, có 03 công trình mới được đưa vào sử dụng, được trang bị các hệ thống kỹ thuật hiện tại, tiên tiến: 01 tòa nhà đạt chứng nhận LEED Platinum, 01 tòa nhà đạt chứng nhận LEED Gold, 01 tòa nhà đạt chứng nhận LEED Silver bởi Hội đồng Công

trình Xanh của Mỹ. Các tòa nhà trên đều được trang bị hệ thống quản lý tòa nhà (BMS), ứng dụng công nghệ hiện đại để kiểm soát và điều khiển toàn bộ các hệ thống trong tòa nhà, bao gồm: điều hòa không khí, chiếu sáng, cấp thoát nước, PCCC, thang máy, v.v. Hệ thống này tự động vận hành, điều chỉnh thông qua các tín hiệu cảm biến chất lượng không khí, nhiệt độ, độ ẩm... giúp tối ưu hóa hiệu suất và giảm thiểu sự vận hành thủ công.

Với chứng nhận công trình xanh đạt được và hệ thống quản lý vận hành tòa nhà tiên tiến, các công trình trên được mong đợi sẽ đạt được hiệu quả tiết kiệm năng lượng cao. Tuy nhiên kết quả khảo sát về hiện trạng tiêu thụ điện năng của các công trình này cho thấy trong quá trình vận hành, năng lượng tiêu thụ thực tế so với số liệu thiết kế là không có sự khác biệt trong các tháng cao điểm mùa hè. Điều này cho thấy nếu chỉ áp dụng giải pháp quản lý tòa nhà BMS thì việc quản lý năng lượng trong tòa nhà có thể chưa đạt được mức tối ưu.

3. Đề xuất các giải pháp giảm thiểu phát thải các-bon trong quá trình vận hành tòa nhà văn phòng

3.1. Chiến lược giảm phát thải các-bon trong lĩnh vực tòa nhà



Hình 1. Các chiến lược để đạt được NZCB [4].

Theo báo cáo của Chương trình Môi trường Liên hợp quốc (UNEP), bằng cách kết hợp sử dụng năng lượng hiệu quả với thiết kế thụ động; cải thiện hiệu suất cách nhiệt; sử dụng hệ thống HVAC hiệu suất cao cùng năng lượng tái tạo hướng tới đạt được mục tiêu phát thải ròng bằng không và hỗ trợ một môi trường xây dựng bền vững, tiết kiệm năng lượng. Những biện pháp này giải quyết những điểm yếu kém đáng kể, đưa ra giải pháp then chốt cho quá trình khử cacbon ở nhiều nước trên thế giới [3]. Việc nghiên cứu và triển khai NZCB cho các tòa nhà đã được phân loại thành các chiến lược thụ động và chiến lược chủ động như được mô tả trong Hình 1.

Các chiến lược thụ động trong việc triển khai NZCB bao gồm thiết kế bền vững thụ động và các kỹ thuật tiết kiệm năng lượng [4]. Thiết kế bền vững thụ động đề cập đến cách các yếu tố tự nhiên, vị trí địa lý có thể giúp giảm nhu cầu năng lượng của tòa nhà. Cách tiếp cận này bao gồm xác định hướng chính của công trình để đảm bảo lượng nhiệt bức xạ chiếu trực tiếp vào công trình là ít nhất; sử dụng vật liệu cách nhiệt phù hợp; áp dụng thông gió tự nhiên và các giải pháp che nắng. Bên cạnh đó, các kỹ thuật tiết kiệm năng lượng nhằm mục đích giảm mức tiêu thụ năng lượng trong quá trình vận hành của

tòa nhà thông qua việc sử dụng các hệ thống kỹ thuật tòa nhà có hiệu suất năng lượng cao, tối ưu quá trình vận hành các hệ thống ...

Các chiến lược chủ động được áp dụng để bổ sung phần năng lượng tiêu thụ còn lại của tòa nhà khi các chiến lược thụ động chưa giải quyết hết được [4]. Hai biện pháp phổ biến hiện nay để phát triển NZCB là sử dụng năng lượng tái tạo và hệ thống dự phòng. Các nguồn năng lượng tái tạo bao gồm năng lượng mặt trời, năng lượng sinh khối và năng lượng gió... Ngoài ra, hệ thống dự phòng hoạt động như một chiến lược chủ động để bù đắp phần năng lượng thiếu hụt của năng lượng tái tạo khi nó bị ảnh hưởng bởi các điều kiện thời tiết. Các thiết bị như pin nhiên liệu và lưu trữ năng lượng đã được sử dụng làm giải pháp dự phòng cho việc ứng dụng và quản lý năng lượng tái tạo.

Ngày nay, trong các giải pháp của chiến lược thụ động và chủ động, việc sử dụng các công nghệ năng lượng hiện đại được ưu tiên hàng đầu. Công nghệ năng lượng cho các tòa nhà tiên tiến bao gồm hệ thống kỹ thuật tòa nhà tiết kiệm năng lượng và hệ thống pin năng lượng mặt trời. Hệ thống kỹ thuật tòa nhà hiệu năng cao đóng vai trò quan trọng trong việc giảm thiểu tiêu thụ năng lượng, nâng cao tiện nghi và hỗ trợ các nỗ lực phát triển bền vững đối với lĩnh vực tòa nhà.

3.2. Các giải pháp tiết kiệm năng lượng cho hệ thống HVAC

Theo nghiên cứu về sử dụng năng lượng điện của 20 tòa nhà văn phòng tại Hồng Kông thì hệ thống HVAC, chiếu sáng, các thiết bị sử dụng điện khác và hệ thống thang máy chiếm lần lượt là 47,5 %, 27,4 %, 21,8 % và 3,3 % tổng mức tiêu thụ năng lượng [5]. Việc cải thiện hiệu suất của các hệ thống này đóng vai trò quan trọng trong chiến lược hướng tới NZCB. Nghiên cứu được thực hiện cho công trình tại Las Vegas cho thấy sử dụng bộ điều khiển và cài đặt nhiệt độ trung tâm với chế độ nhiệt độ bên trong phù hợp có thể giảm đáng kể tải lạnh và tải nhiệt trong khi vẫn đảm bảo tiện nghi nhiệt cho con người. Thông qua đo đạc và mô phỏng, nhóm tác giả đã chứng minh rằng việc tăng nhiệt độ cài đặt thêm 2,2 °C vào khung giờ 16h – 19h chiều trong mùa hè có thể giảm 69 % mức tiêu thụ năng lượng cao điểm [6].

Để tiết kiệm năng lượng tiêu thụ của hệ thống điều hòa không khí, cần xem xét áp dụng đồng bộ các giải pháp từ lớp vỏ kết cấu bao che đến thiết kế và tối ưu hóa vận hành hệ thống điều hòa không khí. Với các công trình thuộc phạm vi áp dụng của QCVN 09:2017/BXD, các thông số thiết kế cần đáp ứng các yêu cầu của quy chuẩn đối với lớp vỏ bao che, chỉ số hiệu quả COP của máy điều hòa không khí, hiệu suất của các động cơ điện. Tuy nhiên việc thiết kế theo các quy định của QCVN 09:2017 mới chỉ là giải pháp tiết kiệm năng lượng ban đầu. Cần thực hiện các giải pháp tiết kiệm năng lượng trong giai đoạn vận hành hệ thống điều hòa không khí.

Tải lạnh của công trình phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố như điều kiện khí hậu ngoài nhà, nhiệt độ và độ ẩm trong công trình, nguồn nhiệt bên trong công trình và số lượng người sử dụng. Khi tải lạnh trong công trình thay đổi thì hệ thống sẽ tự động điều chỉnh chế độ vận hành phù hợp với tải lạnh yêu cầu. Việc lựa chọn thông số bên trong công trình để thiết kế, vận hành hệ thống điều hòa không khí sẽ góp phần khá lớn

trong việc tiết kiệm năng lượng của hệ thống. Theo TCVN 5687:2024, về mùa hè nhiệt độ không khí trong nhà đối với công trình tòa nhà văn phòng là 25 – 27 °C, nhiệt độ không khí ngoài nhà là 36,1 °C (ví dụ cho địa điểm là Hà Nội, số giờ không đảm bảo là 200 h/năm). Nếu cài đặt nhiệt độ bên trong nhà là 25 °C thì chênh lệch nhiệt độ không khí trong và ngoài nhà là $36,1 - 25 = 11,1$ °C. Khi cài đặt nhiệt độ bên trong nhà là 27 °C thì chênh lệch nhiệt độ không khí trong và ngoài nhà là $36,1 - 27 = 9,1$ °C. Chênh lệch nhiệt độ của hai chế độ vận hành là $11,1 - 9,1 = 2$ °C tương ứng là chênh lệch nhiệt độ trong và ngoài nhà giảm 18 %. Với mức giảm chênh lệch nhiệt độ không khí trong và ngoài nhà là 18 %, có thể hiểu một cách gần đúng tải lạnh yêu cầu giảm với tỉ lệ tương ứng, tiềm năng tiết kiệm trong vận hành là rất lớn.

Hiện nay, để tối ưu hóa hiệu quả của hệ thống HVAC trong phát triển NZCB, nên lựa chọn các thiết bị có hiệu suất cao, có khả năng điều chỉnh công suất theo tải; phối hợp với các hệ thống thu hồi năng lượng... Mô hình thông tin công trình (BIM) được sử dụng để mô phỏng tiêu thụ năng lượng của tòa nhà khi sử dụng các giải pháp HVAC khác nhau như thiết bị bơm nhiệt không khí, thiết bị bơm nhiệt địa nhiệt. Kết quả cho thấy thiết bị bơm nhiệt địa nhiệt cho hiệu quả sử dụng năng lượng cao hơn tại các vùng có khí hậu lạnh; tại các vùng có khí hậu ôn hòa hơn thì việc sử dụng thiết bị bơm nhiệt không khí là giải pháp tối ưu [7].

Các mức tiêu thụ năng lượng trong NZCB được so sánh với các tùy chọn thông gió, hút ẩm và bơm nhiệt khác nhau, cho thấy rằng thiết bị thông gió thu hồi nhiệt và thiết bị thông gió thu hồi năng lượng có thể góp phần giảm mức tiêu thụ năng lượng của hệ thống HVAC lần lượt là 13,5 % và 17,4 % và giảm mức tiêu thụ năng lượng chung của tòa nhà lần lượt là 7,5 % và 9,7 % [8]. Sử dụng hệ thống thông gió thu hồi nhiệt đã được đánh giá cao trong việc mang lại hiệu quả về năng lượng. Việc sử dụng các bánh xe thu hồi nhiệt, bánh xe hút ẩm, hệ thống thu hồi nhiệt ống dẫn, thu hồi nhiệt dạng tấm đều mang lại hiệu quả về việc thu hồi nhiệt ẩn và nhiệt hiện. Tuy nhiên tùy vào các vùng khí hậu mà có những ứng dụng phù hợp [9]. Kết quả đánh giá toàn diện về hệ thống thu hồi nhiệt cho các tòa nhà cho thấy hệ thống làm giảm mức tiêu thụ năng lượng trong công trình; thu hồi được 60-95 % năng lượng từ không khí thải ra [10]. Hiện nay hệ thống thông gió thu hồi nhiệt thường được ứng dụng rộng rãi trong việc cấp gió tươi, kết hợp với hệ thống điều hòa không khí cho các công trình dân dụng.

Việc sử dụng hệ thống chiếu sáng tiết kiệm năng lượng và các thiết bị điện hiệu suất cao không chỉ trực tiếp làm giảm mức tiêu thụ điện mà còn giảm lượng nhiệt tỏa từ thiết bị sử dụng điện, dẫn đến giảm tải làm mát của hệ thống HVAC. Bên cạnh đó, việc triển khai hệ thống chiếu sáng tiết kiệm năng lượng với hệ thống điều khiển thông minh (sử dụng cảm biến chuyển động, bộ cài đặt hẹn giờ) kết hợp với hệ thống chiếu sáng tự nhiên có thể giúp giảm lượng điện năng tiêu thụ, tăng cường sự thoải mái về thị giác và góp phần vào việc phát triển NZCB [11].

Các hệ thống lưu trữ nhiệt năng được áp dụng cho hệ thống điều hòa không khí, sử dụng môi trường lưu trữ nhiệt năng (nước lạnh hoặc nước đá) vào những khung giờ thấp điểm (ban đêm), khi giá điện rẻ hơn và xả nhiệt năng này để làm mát tòa nhà trong giờ cao điểm, cải

thiện hiệu suất năng lượng và giảm chi phí. Các công nghệ chính bao gồm lưu trữ nhiệt ẩn sử dụng vật liệu chuyển pha cho mật độ cao và lưu trữ nhiệt hiện bằng nước. Mặc dù lưu trữ nhiệt ẩn có mật độ cao hơn, cả hai hệ thống đều tiết kiệm năng lượng đáng kể và có thể giúp quản lý nhu cầu tiêu thụ điện vào giờ cao điểm [12].

Một trong những công nghệ tiết kiệm năng lượng khác là hệ thống thông gió làm mát bay hơi [13]. Hệ thống làm mát bay hơi cung cấp không khí mát, giảm lượng phát thải các-bon, giảm mức tiêu thụ năng lượng, tiết kiệm chi phí so với các hệ thống điều hòa không khí khác, được ứng dụng rộng rãi và phù hợp cho các vùng khí hậu nóng và khô.

Một trong những giải pháp tiết kiệm năng lượng khác là sử dụng hệ thống điều hòa không khí có lưu lượng không khí thay đổi (VAV). Hệ thống có thể thay đổi lưu lượng không khí để phù hợp với nhu cầu sưởi ấm hoặc làm mát, thông qua việc sử dụng van điều tiết trong các thiết bị đầu cuối để kiểm soát luồng không khí và cải thiện hiệu suất năng lượng cũng như kiểm soát nhiệt độ. Trên đường ống cấp không khí lạnh đến các gian phòng từ thiết bị AHU sẽ được lắp đặt các hộp VAV. Van điều tiết lưu lượng tại hộp VAV được điều khiển bởi cảm biến nhiệt độ. Bộ điều khiển nhận tín hiệu từ các cảm biến trong phòng để đóng mở, điều chỉnh luồng không khí nhằm đáp ứng nhiệt độ cài đặt cụ thể của phòng. Các tiến bộ công nghệ của hệ thống VAV cho thấy tiềm năng tiết kiệm năng lượng rất lớn [14].

3.3. Các giải pháp tiết kiệm năng lượng cho hệ thống chiếu sáng

Hệ thống chiếu sáng chiếm tỉ trọng lớn trong tiêu thụ điện năng của công trình, khoảng 29 % tổng mức tiêu thụ năng lượng trong các tòa nhà văn phòng [15]. Do đó, việc giảm mức tiêu thụ năng lượng chiếu sáng là rất quan trọng để đạt được NZCB.

Tiềm năng tiết kiệm năng lượng từ hệ thống chiếu sáng của các tòa nhà văn phòng ở khu vực Bắc Âu [16] được đánh giá thông qua các giải pháp như thay thế toàn bộ đèn huỳnh quang T12 bằng đèn LED, tích hợp cảm biến chuyển động, cảm biến ánh sáng ban ngày, sử dụng chiếu sáng tập trung tại khu vực làm việc, tối đa hóa việc sử dụng ánh sáng ban ngày. Kết quả cho thấy mức tiêu thụ điện năng giảm được 50 % so với mức trung bình. Mức tiêu thụ điện năng ban đầu là 20-40 kWh/m²/năm giảm xuống còn 10 kWh/m²/năm. Các nghiên cứu đều cho thấy đèn LED là công nghệ chiếu sáng cho hiệu suất cao nhất hiện nay, đóng vai trò then chốt trong việc giảm tiêu thụ năng lượng cho công trình [17]. Hệ thống điều khiển chiếu sáng thông minh, điều chỉnh ánh sáng dựa trên độ rọi trong nhà, có thể tối ưu hóa việc sử dụng năng lượng trong khi vẫn duy trì chất lượng chiếu sáng. Một số nghiên cứu [18, 19] đã đề xuất sử dụng cảm biến và bộ điều khiển để cung cấp thông tin và phản hồi về chiếu sáng theo thời gian thực. Một số giải pháp tiết kiệm năng lượng trong lĩnh vực chiếu sáng bao gồm:

- Tận dụng ánh sáng tự nhiên (daylighting): sử dụng thiết bị tự động tắt đèn chiếu sáng khi có đủ ánh sáng mặt trời có thể tiết kiệm được từ 5-10 % tổng mức năng lượng sử dụng của các công trình ở Việt Nam. Để tận dụng ánh sáng tự nhiên, có thể áp dụng các biện pháp

như sử dụng máng hứng nắng, ống dẫn quang học, giếng trời, cửa sổ mái; xác định hướng nhà tối ưu để tận dụng ánh sáng tự nhiên và giảm lượng nhiệt bức xạ trực tiếp từ mặt trời; cân bằng lượng nhiệt do bức xạ và tận dụng ánh sáng tự nhiên.

- Xác định độ rọi yêu cầu tối thiểu, giảm công suất chiếu sáng không cần thiết: Các công trình thường sử dụng số lượng đèn nhiều hơn so với yêu cầu, dẫn đến hao phí điện chiếu sáng. Giảm số lượng đèn dư thừa này sẽ tiết kiệm đáng kể tiêu thụ năng lượng.

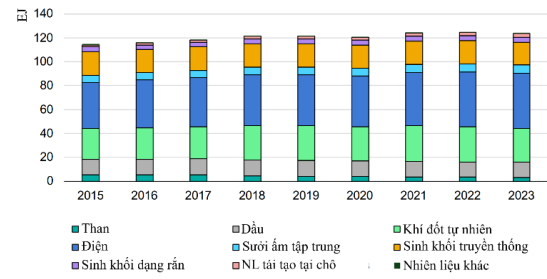
- Sử dụng bóng đèn tiết kiệm năng lượng và vật chiếu sáng hiệu quả: đèn huỳnh quang, đèn compact, đèn LED có hiệu suất cao, biến đổi hầu hết điện năng thành quang thông, từ đó có thể giúp giảm lượng điện tiêu thụ và tải làm mát do giảm lượng nhiệt tỏa do thiết bị chiếu sáng.

- Sử dụng hệ thống điều khiển chiếu sáng: sử dụng cảm biến chuyển động lắp đặt ở những nơi không có người thường xuyên qua lại, có thể tiết kiệm từ 25-50 % công suất chiếu sáng.

Ngoài ra cần thiết kế chiếu sáng phân vùng, phân chia khu vực chiếu sáng phụ thuộc vào công năng, thuận lợi cho quá trình điều khiển, vận hành hệ thống chiếu sáng; sử dụng chiếu sáng cục bộ cho các khu vực riêng lẻ.

3.4. Sử dụng năng lượng tái tạo

Các nguồn năng lượng tái tạo được sử dụng phổ biến hiện nay bao gồm năng lượng mặt trời, năng lượng gió, năng lượng địa nhiệt, ... thông qua các thiết bị như pin năng lượng mặt trời, tua-bin gió, bể sinh khối... Việc tích hợp năng lượng tái tạo giúp giảm lượng phát thải các-bon và mang lại những lợi ích khác bao gồm cải thiện chất lượng không khí và tăng cường an ninh năng lượng. Theo báo cáo của UNEP, việc sử dụng năng lượng tái tạo trong các tòa nhà đã đạt đến mức chưa từng có, một phần nhờ vào sự tăng trưởng ở Châu Phi, với các khoản đầu tư đáng kể vào năng lượng mặt trời, năng lượng gió và các công nghệ tái tạo khác nhờ nguồn tài chính cho năng lượng tái tạo (IEA 2024a). Năm 2023, 17 % tổng nhu cầu năng lượng trong lĩnh vực xây dựng được đáp ứng bởi các nguồn năng lượng tái tạo, bao gồm cả việc sử dụng trực tiếp năng lượng tái tạo liên kết với tòa nhà và đóng góp từ tỷ trọng ngày càng tăng của năng lượng tái tạo trong ngành điện (xem Hình 2). IEA ước tính công suất lắp đặt của quang điện (PV) trong lĩnh vực dân dụng và thương mại là khoảng 500 GW vào năm 2022 và tăng hơn 27 % lên 628 GW vào năm 2023, và dự kiến sẽ tăng hơn 20 % vào năm 2024 (IEA 2024b) [20]. Hiệu ứng quang điện chuyển đổi trực tiếp năng lượng mặt trời thành năng lượng điện trong các công nghệ PV [21]. Do đó, việc phát điện từ các mô-đun PV chịu ảnh hưởng rất nhiều bởi các điều kiện khí hậu địa phương. Các hệ thống PV cho hiệu quả cao hơn ở các vùng nhiệt đới và các khu vực có nhiều ánh sáng mặt trời và mức độ bức xạ quang điện cao. Bằng cách phân tích các xu hướng theo mùa và hàng ngày, có thể xác định chính xác dự báo đáng tin cậy về sản lượng năng lượng PV. Các hệ thống theo dõi mặt trời có thể làm giảm tác động của các điều kiện thời tiết lên các tấm pin PV [22].



Hình 2. Tỉ lệ sử dụng các nguồn năng lượng trong công trình.

Năng lượng mặt trời đặc biệt có lợi ở những khu vực có cường độ bức xạ mặt trời cao, điển hình của khí hậu khô và nhiệt đới. Mặt khác, năng lượng gió lại phát huy tác dụng vượt trội ở các vùng ven biển hoặc vùng cao có gió ổn định. Dự án Remap của IRENA đặt mục tiêu tăng gấp đôi năng lượng tái tạo hiện đại trên thế giới vào năm 2030 [23]. Theo dự báo của họ, Trung Quốc, Hoa Kỳ và EU sẽ là ba khu vực tiêu thụ năng lượng tái tạo hàng đầu, với mỗi nước lần lượt chiếm 20 %, 15 % và 14 %. Ba khu vực này ước tính chiếm tổng cộng 49 % mức tiêu thụ năng lượng tái tạo của thế giới. Vào năm 2030, các giải pháp thay thế Remap này sẽ giảm vai trò của than đá trong sản xuất điện toàn cầu từ 43 % xuống còn 25 % [23]. Trong cùng bối cảnh, điện gió sẽ tăng từ 3 % năm 2014 lên 14 % năm 2030, trong khi điện mặt trời sẽ tăng từ dưới 1 % năm 2014 lên gần 7 % năm 2030.

Hiện nay có 02 loại tòa nhà NZCB, một là NZCB độc lập (Off-grid) và NZCB nối lưới (Grid-connected). NZCB độc lập phải tự đáp ứng 100% nhu cầu năng lượng và phải có đủ khả năng dự phòng cho những ngày năng lượng mặt trời (hoặc gió) không đảm bảo cung cấp điện. NZCB nối lưới sử dụng lưới điện làm kho dự trữ ảo hoặc dự phòng khi sản xuất tại chỗ không đủ. Hệ thống pin của NZCB nối lưới được tối ưu hóa về kích thước để chỉ đáp ứng nhu cầu sử dụng vào giờ cao điểm, sạc khi giá điện thấp và xả khi giá điện cao. Như vậy các tòa nhà NZEB nối lưới với khả năng lưu trữ năng lượng một phần, rõ ràng tiết kiệm hơn so với các NZEB hoàn toàn độc lập. Một ý tưởng độc đáo đến từ công nghệ xe đến nhà (V2H) sử dụng năng lượng pin nhân rồi từ xe điện (EV) làm hệ thống lưu trữ từ các nguồn năng lượng tái tạo và cung cấp nguồn điện dự phòng. Bằng cách giải phóng năng lượng trong thời gian nhu cầu cao điểm và sạc trong giờ thấp điểm [24]. Với cách thức này, lưới điện đóng vai trò là nguồn cung cấp chính năng lượng, còn năng lượng lưu trữ pin của xe đóng vai trò hỗ trợ.

Việc triển khai công nghệ V2H để quản lý điện tại một công trình NZCB [25] đã được áp dụng tại Orlando, Florida, nhờ tích hợp các nguồn PV với kỹ thuật V2H. Xe điện EV sử dụng một pin cố định dành cho mục đích sử dụng tải cơ bản để lưu trữ điện năng do PV cung cấp. Trong giờ thấp điểm, chúng lấy điện từ pin này hoặc lấy điện từ lưới điện, và trong giờ cao điểm, chúng trả lại năng lượng cho lưới điện. Sự sắp xếp này dẫn đến việc giảm tải từ lưới điện trong một số tháng cao điểm và tạo ra doanh thu từ lượng điện dư thừa được sử dụng trong những tháng khác, giúp bù đắp các khoản đầu tư ban đầu cho các tấm pin PV và hệ thống lưu trữ năng lượng.

3.5. Quản lý năng lượng tòa nhà

Hệ thống quản lý năng lượng tòa nhà (Building Energy Management System - BEMS) là một hệ thống điều khiển dựa trên máy tính, được thiết kế để giám sát, quản lý và tối ưu hóa hiệu suất năng lượng của các thiết bị và hệ thống kỹ thuật bên trong tòa nhà. Mục tiêu cốt lõi của BEMS là giảm thiểu tiêu thụ năng lượng (tiết kiệm chi phí) và duy trì điều kiện tiện nghi cho người sử dụng, đồng thời cung cấp các dữ liệu chi tiết để hỗ trợ việc ra quyết định vận hành.

Đa số các tòa nhà hiện nay sử dụng Hệ thống Quản lý Tòa nhà (Building Management System – BMS), hay còn gọi là Hệ thống Tự động hóa Tòa nhà (Building Automation System – BAS), được thiết kế để giám sát, điều khiển và quản lý tập trung các hệ thống cơ điện (M&E) và các hệ thống kỹ thuật bên trong tòa nhà. Tuy nhiên, đối với mục tiêu tối ưu hóa vận hành để tiết kiệm năng lượng, hướng đến NZCB thì hệ thống chưa đáp ứng được. Vì vậy trên nền tảng hệ thống BMS đã có của công trình, hệ thống cần được trang bị thêm tính năng nâng cao hoặc một phần mềm phân tích bổ sung chạy trên nền tảng dữ liệu của BMS.

Thực trạng lớn nhất hiện nay là các công trình chỉ tập trung vào xây dựng, chưa tối ưu hóa quá trình thiết kế và đặc biệt chưa đánh giá đúng mức tầm quan trọng của giai đoạn vận hành, dẫn đến hiệu quả năng lượng của tòa nhà không đạt được kỳ vọng như thiết kế [26]. Do đó, tính thông minh và tính đơn giản của BEMS là rất quan trọng đối với NZCB. Theo đó, BEMS thông minh đã trở thành thước đo chính để chuẩn hóa và đạt được NZCB.

Qua quá trình tổng hợp các phương pháp BEMS, đã phân loại thành hai phương pháp bao gồm thụ động và chủ động. Các phương pháp thụ động dựa trên việc cung cấp các chiến lược trong tương lai và cải thiện nhận thức về năng lượng của người dùng để tác động và giảm việc sử dụng năng lượng trong các tòa nhà một cách gián tiếp... Các phương pháp chủ động có nhiều khả năng được hiện thực hóa thông qua các hoạt động giáo dục dài hạn. Các phương pháp chủ động dựa trên sự kết hợp giữa cảm biến và bộ điều khiển (công tắc, động cơ, van...) trong tòa nhà để giảm lãng phí năng lượng [27]. Xét về góc độ kỹ thuật thuần túy, các phương pháp chủ động hiện là phương pháp khả thi nhất để đạt được NZCB.

Việc nghiên cứu về hệ thống BEMS dựa trên công nghệ thông tin đã chỉ ra rõ các hạn chế đối với hệ thống hiện nay như chưa đủ thông minh, sự phức tạp trong việc xử lý các tập dữ liệu lớn, mất dữ liệu, sự cố mạng và các thông số thiết kế và cài đặt cố định cho hệ thống HVAC, hệ thống chiếu sáng [28]. Cần có sự phát triển các bộ điều khiển tiên tiến dựa trên internet năng lượng (IoE), nâng cấp và tự động hóa cơ sở hạ tầng ngành điện. Phát triển các ứng dụng mới để tận dụng toàn bộ tiềm năng của BEMS dựa trên IoE nhằm nâng cao hiệu suất và hiệu quả năng lượng. Tích hợp IoE và Internet vạn vật (IoT): Kết hợp khả năng của IoT để kết nối thiết bị và IoE cho các chức năng lưới điện thông minh để tạo ra các BEMS tinh vi hơn. Cải thiện quản lý dữ liệu: Các hệ thống trong tương lai nên tập trung vào các phương pháp tốt hơn để thu thập, xử lý và sử dụng dữ liệu thời gian thực nhằm phát hiện và khắc phục các điểm kém hiệu quả.

Việc tích hợp trí tuệ nhân tạo (AI) và IoT sẽ cung cấp một lộ trình triển khai khả thi để thúc đẩy các NZCB thông qua quản lý và điều khiển thông minh các hệ thống tòa nhà khác nhau, như tự động hóa tòa nhà, hệ thống chiếu sáng thông minh và hệ thống phân phối năng lượng. Hệ thống điều khiển thông minh dựa trên IoT cho hệ thống điều hòa không khí trung tâm đã được chứng minh có thể tiết kiệm năng lượng hàng năm lên đến 30 % [29], điều đó khẳng định vai trò quan trọng của BEMS trong việc giảm mức tiêu thụ năng lượng của tòa nhà và cải thiện hiệu quả năng lượng.

Một lượng lớn dữ liệu môi trường vật lý được sử dụng để đào tạo và kiểm tra mô hình sử dụng năng lượng. Các hệ thống điều khiển tận dụng công nghệ IoT và AI có thể nắm bắt hiệu quả các thay đổi về môi trường và sau đó xây dựng các mô hình dự đoán để cải thiện đáng kể độ chính xác của hệ thống điều khiển. Điều khiển động nhiệt độ trong nhà là một phương pháp được công nhận rộng rãi để tối ưu hóa hiệu suất của hệ thống HVAC và giảm mức tiêu thụ năng lượng của tòa nhà. Hệ thống HVAC có thể được trang bị cảm biến nhiệt độ có thể điều chỉnh ngay lập tức các điều kiện nhiệt trong nhà để duy trì sự thoải mái cho người sử dụng. Nhiều mô hình dự đoán HVAC khác nhau đã được phát triển, bao gồm các mô hình dựa trên thông tin vật lý, mô hình dựa trên dữ liệu và mô hình kết hợp [30].

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã thực hiện các hoạt động khảo sát, đánh giá hiện trạng tiêu thụ năng lượng của hệ thống kỹ thuật trong các tòa nhà văn phòng cũng như hiệu quả áp dụng của một số giải pháp tiết kiệm năng lượng trong các tòa nhà văn phòng ở Việt Nam. Kết quả cho thấy trong các tòa nhà văn phòng được khảo sát, hệ thống điều hòa không khí có tỷ lệ tiêu thụ điện năng là lớn nhất (trung bình khoảng 42,25 % tổng tiêu thụ điện của tòa nhà); tiếp đó là các hệ thống chiếu sáng, ô nhiễm; hệ thống bơm... Các hệ thống điều hòa không khí trung tâm đều được thiết kế vận hành với chế độ tự động điều chỉnh công suất theo tải lạnh yêu cầu, tuy nhiên việc áp dụng các giải pháp tiết kiệm năng lượng khác đối với hệ thống điều hòa không khí còn nhiều hạn chế. Đối với hệ thống chiếu sáng, tất cả các công trình được khảo sát đều sử dụng loại đèn LED có hiệu suất chiếu sáng cao, tiết kiệm năng lượng. Tuy nhiên, việc điều khiển chiếu sáng tự động và kết hợp chiếu sáng tự nhiên với chiếu sáng nhân tạo trong các tòa nhà văn phòng chưa được quan tâm đầu tư đúng mức. Dựa trên các kết quả phân tích, đánh giá hiện trạng tiêu thụ năng lượng của các hệ thống kỹ thuật cũng như hiệu quả áp dụng của một số giải pháp tiết kiệm năng lượng trong các tòa nhà văn phòng, nghiên cứu đã đề xuất một số giải pháp nhằm giảm thiểu tiêu thụ năng lượng trong quá trình vận hành của các tòa nhà văn phòng. Các kết quả của nghiên cứu này có thể góp phần cung cấp thêm các cơ sở khoa học và thực tiễn cho việc thực hiện các giải pháp nhằm giảm thiểu phát thải các-bon vận hành trong các tòa nhà văn phòng ở Việt Nam.

5. Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn Bộ Xây dựng đã hỗ trợ kinh phí thực hiện nghiên cứu thông qua Đề tài mã số RD 06-24

Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Đức Lượng, Nguyễn Công Thịnh, 2023b. Phát triển tòa nhà phát thải ròng bằng không: Cách tiếp cận ở một số quốc gia trên thế giới và khuyến nghị cho Việt Nam. *Tạp chí Xây dựng*, 4.2023: 81–85.
- [2]. WRI, 2022. Zero Carbon Buildings for All. <https://wrirosscities.org/ZeroCarbonBuildings>.
- [3]. United Nations Environment Programme, 2022. 2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi.
- [4]. K. Parvin, K. Parvin, M.J. Hossain, A.Z. Arsad, Pin Jern Ker, M.A. Hannan. Building energy technologies towards achieving net-zero pathway: A comprehensive review, challenges and future directions. <https://doi.org/10.1016/j.jobte.2025.111795>
- [5]. Lam, J.; Chan, R.; Tsang, C.; Li, D. Electricity use characteristics of purpose-built office buildings in subtropical climates. *Energy Convers. Manag.* 2004, 45, 829–844.
- [6]. Sadineni, S.; Boehm, R. Measurements and simulations for peak electrical load reduction in cooling dominated climate. *Energy* 2012, 37, 689–697
- [7]. Kathiravel, R.; Zhu, S.; Feng, H. LCA of net-zero energy residential buildings with different HVAC systems across Canadian climates: A BIM-based fuzzy approach. *Energy Build.* 2024, 306, 113905.
- [8]. Wu, W.; Skye, H.; Domanski, P. Selecting HVAC systems to achieve comfortable and cost-effective residential net-zero energy buildings. *Appl. Energy* 2018, 212, 577–591
- [9]. A. Mardiana-Idayu, S.B. Riffat. Review on heat recovery technologies for building applications. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 16 (2) (2012), pp. 1241–1255, 10.1016/j.rser.2011.09.026
- [10]. P.M. Cuce, S. Riffat. A comprehensive review of heat recovery systems for building applications. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 47 (2015), pp. 665–682, 10.1016/j.rser.2015.03.087
- [11]. Li, D.; Cheung, K.; Wong, S.; Lam, T. An analysis of energy-efficient light fittings and lighting controls. *Appl. Energy* 2010, 87, 558–567
- [12]. A.A. Al-Abidi, S. Bin Mat, K. Sopian, M.Y. Sulaiman, C.H. Lim, A. Th. Review of thermal energy storage for air conditioning systems. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 16 (8) (2012), pp. 5802–5819, 10.1016/j.rser.2012.05.030.
- [13]. P.M. Cuce, S. Riffat. A state of the art review of evaporative cooling systems for building applications. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 54 (2016), pp. 1240–1249, 10.1016/j.rser.2015.10.066
- [14]. G.S. Okochi, Y. Yao. A review of recent developments and technological advancements of variable-air-volume (VAV) air-conditioning systems. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 59 (2016), pp. 784–817, 10.1016/j.rser.2015.12.328
- [15]. Ghisi, E.; Tinker, J.A. An Ideal Window Area concept for energy efficient integration of daylight and artificial light in buildings. *Build. Environ.* 2005, 40, 51–61.
- [16]. M.-C. Dubois, A. Blomsterberg. Energy saving potential and strategies for electric lighting in future north European, low energy office buildings: a literature review. *Energy Build.*, 43 (10) (2011), pp. 2572–2582, 10.1016/j.enbuild.2011.07.001.
- [17]. B.-L. Ahn, C.-Y. Jang, S.-B. Leigh, S. Yoo, H. Jeong. Effect of LED lighting on the cooling and heating loads in office buildings. *Appl. Energy*, 113 (2014), pp. 1484–1489, 10.1016/j.apenergy.2013.08.050.
- [18]. Rossi, M.; Pandharipande, A.; Caicedo, D.; Caicedo, D.; Schenato, L.; Cenedese, A. Personal lighting control with occupancy and daylight adaptation. *Energy Build.* 2015, 105, 263–272.
- [19]. Meugheuvél, N.; Pandharipande, A.; Caicedo, D.; Hof, P. Distributed lighting control with daylight and occupancy adaptation. *Energy Build.* 2014, 75, 321–329.
- [20]. <https://www.unep.org/resources/report/global-status-report-buildings-and-construction-20242025>
- [21]. J. Khan, M.H. Arsalan. Solar power technologies for sustainable electricity generation - a review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 55 (2016), pp. 414–425, 10.1016/j.rser.2015.10.135
- [22]. R. Fucci, L. Lancellotti, C. Privato. A procedure for assessing the reliability of short circuited concentration photovoltaic systems in outdoor degradation conditions. *Microelectron. Reliab.*, 54 (1) (2014), pp. 182–187, 10.1016/j.microrel.2013.09.019.
- [23]. IRENA. Roadmap for a renewable energy future. [Online]. Available. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_REmap_2016_editi on_report.pdf.
- [24]. O. Erdinc. Economic impacts of small-scale own generating and storage units, and electric vehicles under different demand response strategies for smart households. *Appl. Energy*, 126 (Aug. 2014), pp. 142–150, 10.1016/j.apenergy.2014.04.010
- [25]. M. Alirezaei, M. Noori, O. Tatari. Getting to net zero energy building: investigating the role of vehicle to home technology. *Energy Build.*, 130 (Oct. 2016), pp. 465–476, 10.1016/j.enbuild.2016.08.044.
- [26]. Liu, Z.; Liu, Y.; He, B.J.; Jin, G.; Zhang, K. Application and suitability analysis of the key technologies in nearly zero energy buildings in China. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2019, 101, 329–345
- [27]. Mariano-Hernández, D.; Hernández-Callejo, L.; Zorita-Lamadrid, A.; Duque-Pérez, O.; García, F. A review of strategies for building energy management system: Model predictive control, demand side management, optimization, and fault detect & diagnosis. *J. Build. Eng.* 2021, 33, 101692
- [28]. Hannan, M.; Faisal, M.; Ker, P.; Mun, L.; Parvin, K.; Mahlia, T. A Review of Internet of Energy Based Building Energy Management Systems: Issues and Recommendations. *IEEE Access* 2018, 6, 38997–39014
- [29]. Shen, Y.; Wang, L.; Yu, C.; Bao, G.; Jin, J.; Gu, J.; Wang, D. The concept of zero carbon building and key technologies. *Green Build.* 2023, 15, 21–24
- [30]. Elmaz, F.; Eyckerman, R.; Casteels, W.; Latré, S.; Hellinckx, P. CNN-LSTM architecture for predictive indoor temperature modeling. *Build. Environ.* 2021, 206, 108327.