

Thông gió theo nhu cầu trong công trình tại Việt Nam gắn với kiểm soát chất lượng không khí trong nhà và phát thải từ vật liệu hoàn thiện

Phạm Trung Đức¹, Đỗ Thành Công², Nguyễn Thành Trung^{3*}

¹ Công ty Cổ phần Tư vấn đầu tư và Xây dựng Đất Việt

² Khoa Kiến trúc và Quy hoạch, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

³ Khoa Kỹ thuật môi trường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

TỪ KHOẢ

Thông gió theo nhu cầu

DCV

Chất lượng không khí trong nhà

IAQ

CO₂

TCVN 5687:2024

TCVN 13521:2022

Khí hậu nóng ẩm

TÓM TẮT

Thông gió theo nhu cầu (Demand Controlled Ventilation – DCV) là chiến lược điều chỉnh lưu lượng gió ngoài theo mức độ sử dụng thực tế của không gian, thường dựa trên tín hiệu CO₂ và có thể phối hợp với các tín hiệu chất lượng không khí trong nhà khác. Trong điều kiện Việt Nam, DCV có ý nghĩa đặc biệt đối với các công trình sử dụng điều hòa không khí do lưu lượng gió ngoài ảnh hưởng trực tiếp đến tải lạnh, tải khử ẩm và chất lượng không khí trong nhà. Bài báo thực hiện tổng quan tài liệu, phân tích tiêu chuẩn và đối chiếu kinh nghiệm khu vực nhằm đánh giá cơ sở áp dụng DCV trong công trình tại Việt Nam. Các tài liệu được lựa chọn tập trung vào ba nhóm nội dung: tiêu chuẩn thông gió và chất lượng không khí trong nhà; cơ sở khoa học và bằng chứng về hiệu quả của DCV; và kinh nghiệm áp dụng trong các khu vực có điều kiện khí hậu nóng ẩm hoặc mật độ đô thị cao. Kết quả phân tích cho thấy Điều 10.13 của TCVN 5687:2024 đã tạo nền tảng ban đầu cho việc áp dụng DCV đối với các hệ thống có lưu lượng gió ngoài lớn và mật độ người cao, nhưng vẫn thiếu hướng dẫn chi tiết về bố trí cảm biến, thuật toán điều khiển, giới hạn lưu lượng, xử lý không khí ngoài, nghiệm thu và bảo trì. Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất định hướng áp dụng DCV như một giải pháp thực hiện tiêu chuẩn, bao gồm phân loại không gian, xác định lưu lượng thiết kế, lựa chọn tín hiệu điều khiển, thiết lập giới hạn vận hành, tích hợp xử lý không khí ngoài và đánh giá hiệu quả sau vận hành.

KEYWORDS

Demand Controlled Ventilation

DCV

Indoor Air Quality

IAQ

CO₂

TCVN 5687:2024

TCVN 13521:2022

Hot-humid climate

ABSTRACT

Demand-Controlled Ventilation (DCV) is a ventilation strategy that adjusts the outdoor air intake according to the actual occupancy and use of a space, commonly based on CO₂ concentration and, where appropriate, in combination with other indoor air quality indicators. In the context of Vietnam, DCV is particularly relevant for air-conditioned buildings, as outdoor air ventilation rates directly affect cooling loads, dehumidification loads, and indoor air quality. This paper conducts a literature review, analyses relevant standards, and compares regional experiences to evaluate the basis for applying DCV in buildings in Vietnam. The selected documents are organised into three main groups: ventilation and indoor air quality standards; scientific foundations and evidence on the effectiveness of DCV; and practical experiences from regions with hot-humid climates or high urban density. The analysis shows that Clause 10.13 of TCVN 5687:2024 provides an initial regulatory basis for applying DCV to systems with large outdoor airflows and high occupant densities. However, detailed guidance is still lacking regarding sensor placement, control algorithms, minimum and maximum airflow limits, outdoor air treatment, commissioning, and maintenance. Based on these findings, the paper proposes a framework for applying DCV as a standard-compliance solution, including space classification, determination of design ventilation rates, selection of control signals, establishment of operational limits, integration with outdoor air treatment systems, and post-occupancy performance evaluation.

1. Đặt vấn đề

Chất lượng không khí trong nhà (Indoor Air Quality – IAQ) là yếu tố môi trường quan trọng, tác động trực tiếp đến sức khỏe, sự thoải mái và hiệu quả làm việc của người sử dụng. Điều này đặc biệt

đáng lưu ý do con người dành phần lớn các hoạt động trong các không gian kín như nhà ở, văn phòng và trên các phương tiện giao thông [1, 2]. Trong khi đó, nồng độ các chất ô nhiễm trong nhà có thể cao hơn ngoài trời từ 2 đến 5 lần, thậm chí tới hàng chục lần trong một số điều kiện đặc thù [3-5]. IAQ không chỉ chịu tác động bởi thông gió

*Liên hệ tác giả: trungnt1@huce.edu.vn

Nhận ngày 01/05/2026, sửa xong ngày 25/05/2026, chấp nhận đăng ngày 26/05/2026

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.04.2026.1421>

và điều hòa không khí, mà còn phụ thuộc vào nguồn phát thải trong nhà như vật liệu hoàn thiện, đồ nội thất, hoạt động thi công, vệ sinh và phương thức vận hành hệ thống kỹ thuật [6-8]. Nghiên cứu tại năm văn phòng mới ở Việt Nam cho thấy giai đoạn đầu vận hành, đặc biệt trong khoảng 0–12 tháng sau hoàn thiện, là khoảng thời gian nồng độ của TVOC, formaldehyde và bụi ở mức cao và đáng quan tâm nhất. Nghiên cứu này cũng cho thấy kiểm soát IAQ cần được tiếp cận đồng bộ từ giai đoạn hoàn thiện, nghiệm thu đến vận hành. Đồng thời cần được áp dụng kết hợp kiểm soát phát thải tại nguồn, tăng cường thông gió trước khi sử dụng, làm sạch không khí, kiểm soát nhiệt độ, độ ẩm, giám sát liên tục các thông số IAQ và tích hợp dữ liệu với hệ thống quản lý tòa nhà [9].

Bên cạnh các nguồn ô nhiễm phát sinh trong công trình, chất lượng không khí ngoài trời tại các đô thị lớn của Việt Nam, đặc biệt là ô nhiễm bụi mịn $PM_{2.5}$, đang tạo ra áp lực đối với việc kiểm soát chất lượng không khí trong nhà. Nghiên cứu tại Hà Nội trong giai đoạn 2019–2020 [10] và giai đoạn 2023–2024 [11] cho thấy các nguồn đóng góp chính gồm đốt nhiên liệu, đốt sinh khối, giao thông và phát tán từ các khu vực lân cận. Khảo sát tại một số trường tiểu học ở Hà Nội cũng cho thấy hàm lượng bụi $PM_{2.5}$ tại các trường nằm gần trục giao thông được ghi nhận cao hơn đáng kể so với các trường ở khu vực khác [12]. Không chỉ có nồng độ cao, thành phần hóa học của bụi mịn cũng cần quan tâm do tiềm ẩn nguy cơ ảnh hưởng đối với sức khỏe [13]. Nghiên cứu các mẫu bụi tại những tuyến đường có mật độ giao thông cao ở Hà Nội cho thấy hơn 90 % hàm lượng hydrocarbon thơm đa vòng và các dẫn xuất methyl của chúng liên kết với bụi $PM_{2.5}$, đây là các hợp chất tiềm ẩn gây ung thư. Điều này cho thấy cần quan tâm đến thành phần hóa học và độc tính của bụi [14].

Các nghiên cứu trên cho thấy việc tăng lưu lượng gió ngoài không đồng nghĩa với cải thiện chất lượng không khí trong nhà nếu không khí cấp vào không được lọc, xử lý nhiệt ẩm và kiểm soát nguồn ô nhiễm một cách phù hợp. Trong môi trường đô thị có nồng độ bụi mịn cao, thông gió không kiểm soát có thể làm gia tăng sự xâm nhập của $PM_{2.5}$ và các chất ô nhiễm ngoài trời vào trong nhà, đồng thời làm tăng tải lạnh và tải khử ẩm của hệ thống điều hòa không khí. Vấn đề này đặc biệt đáng lưu ý tại khu vực khí hậu nóng ẩm như Việt Nam, khi xu hướng sử dụng điều hòa ngày càng phổ biến. Trong bối cảnh đó, việc ban hành TCVN 5687:2024 về thiết kế hệ thống thông gió và điều hòa không khí, cùng với TCVN 13521:2022 về các thông số chất lượng không khí trong nhà ở và nhà công cộng, đã góp phần hoàn thiện cơ sở kỹ thuật cho thiết kế, vận hành và kiểm soát môi trường không khí trong công trình tại Việt Nam.

Tuy nhiên, hệ thống tiêu chuẩn hiện hành vẫn chưa quy định đầy đủ phương pháp điều khiển thông gió theo sự biến động của mật độ người sử dụng thực tế, hay là thông gió theo nhu cầu (Demand Controlled Ventilation – DCV). TCVN 5687:2024 đã đề cập yêu cầu tự

động thay đổi lưu lượng gió ngoài đối với một số hệ thống có lưu lượng lớn và mật độ người cao, trong khi TCVN 13521:2022 chủ yếu quy định các giá trị giới hạn về chất lượng không khí trong nhà. Các nội dung về phương pháp xác định nhu cầu thông gió, cảm biến, điều khiển, giới hạn lưu lượng và quy trình nghiệm thu hệ thống chưa được hướng dẫn đồng bộ. Vì vậy, trong thực tế, nhiều hệ thống vẫn được thiết kế và vận hành theo lưu lượng gió cố định tương ứng với số người thiết kế, trong một số trường hợp lưu lượng thông gió vượt nhu cầu khi không gian ít người hoặc không có người, dẫn đến tăng điện năng tiêu thụ của quạt và tải xử lý nhiệt ẩm của không khí ngoài; ngược lại, chất lượng không khí trong nhà có thể không được bảo đảm khi mật độ người, lịch sử sử dụng hoặc tải ô nhiễm thực tế khác với các giả định thiết kế.

Về cách tiếp cận, bài báo được thực hiện theo hướng tổng quan tài liệu có định hướng, kết hợp phân tích tiêu chuẩn và đối chiếu kinh nghiệm khu vực. Các tài liệu được lựa chọn trên cơ sở mức độ liên quan trực tiếp đến thông gió theo nhu cầu, chất lượng không khí trong nhà, tiêu chuẩn thông gió, điều khiển CO_2 , xử lý không khí ngoài và hiệu quả năng lượng trong công trình sử dụng điều hòa không khí. Nguồn tài liệu được ưu tiên gồm các tiêu chuẩn và hướng dẫn kỹ thuật trong nước, đặc biệt là TCVN 5687:2024 và TCVN 13521:2022; các tiêu chuẩn và tài liệu quốc tế có liên quan; các nghiên cứu khoa học về DCV trong công trình; và kinh nghiệm từ một số nước, khu vực có điều kiện khí hậu nóng ẩm, mật độ đô thị cao hoặc phương thức vận hành công trình gần với Việt Nam. Việc tổng quan không nhằm thực hiện đánh giá hệ thống theo quy trình định lượng, mà nhằm nhận diện cơ sở kỹ thuật, khoảng trống tiêu chuẩn và đề xuất định hướng áp dụng DCV phù hợp với điều kiện Việt Nam.

2. Kinh nghiệm các nước và thực trạng áp dụng tại Việt Nam

2.1 Cách tiếp cận và quy định tại các nước và khu vực có điều kiện gần Việt Nam

Điểm chung đối với các nước ở khu vực có khí hậu nóng ẩm, mật độ đô thị cao và tỷ lệ sử dụng điều hòa lớn là xu hướng chuyển từ giải pháp thiết kế thông gió cố định sang quản lý hiệu năng vận hành, bao gồm giám sát IAQ, kiểm soát hệ thống điều hòa - thông gió, nghiệm thu sau lắp đặt và đánh giá hiệu quả trong quá trình sử dụng.

Đối với nhà ở và căn hộ cần xác lập một “mức thông gió nền” tối thiểu, được duy trì liên tục nhằm kiểm soát độ ẩm, mùi, VOC, formaldehyde và các phát thải từ vật liệu, đồ nội thất hoặc hoạt động sinh hoạt. Vì vậy, lưu lượng thông gió trong nhà ở không nên giảm về “0” ngay cả khi không có người hiện diện. Đây là điểm khác biệt cơ bản giữa DCV áp dụng cho công trình công cộng, nơi tải ô nhiễm chủ yếu biến động theo số người, và DCV áp dụng cho không gian ở, nơi vẫn tồn tại các nguồn ô nhiễm nền không phụ thuộc hoàn toàn vào sự hiện diện của người sử dụng.

Bảng 1. Tổng hợp kinh nghiệm khu vực và định hướng áp dụng DCV tại Việt Nam.

Quốc gia	Cách tiếp cận liên quan đến thông gió / IAQ	Định hướng áp dụng cho Việt Nam
Singapore	Thông gió được xem xét đồng thời giữa tiện nghi nhiệt, IAQ, vận hành điều hòa và đánh giá công trình xanh. Các nghiên cứu và hướng dẫn liên quan đến thông gió tự nhiên, thông gió hỗn hợp và công trình xanh tại Singapore nhấn mạnh thiết kế phù hợp khí hậu, kiểm soát vận hành, đánh giá sau quá trình sử dụng và tích hợp thông gió với hệ thống quản lý tòa nhà [15, 16].	Định hướng xây dựng hướng dẫn DCV theo hướng kiểm soát trong quá trình vận hành, thay vì chỉ xem DCV là việc lắp thêm cảm biến CO ₂ .
Malaysia, Thái Lan, Indonesia, Philippines	Công trình sử dụng điều hòa ngày càng phổ biến, trong khi nhiều tiêu chuẩn thông gió và năng lượng vẫn thiên về các thông số thiết kế cố định. Một số nghiên cứu cho thấy yêu cầu thông gió, đặc biệt trong nhà ở và công trình hỗn hợp vẫn còn thiên về thông số thiết kế, trong khi liên hệ giữa thông gió, IAQ và hiệu năng vận hành sau khi công trình đi vào sử dụng chưa được làm rõ đầy đủ [17-20].	Thiết kế tiếp cận dựa trên vận hành, trong đó mục tiêu thông gió vừa đáp ứng lưu lượng tối thiểu tại thời điểm thiết kế, vừa duy trì IAQ đồng thời tối ưu tiêu thụ năng lượng trong suốt vòng đời khai thác công trình
Hồng Kông	Hướng dẫn kỹ thuật tập trung nhiều vào nâng cao hiệu quả năng lượng của hệ thống điều hòa không khí, bao gồm kiểm soát vận hành, hiệu chỉnh hệ thống, kiểm tra sau lắp đặt và duy trì hiệu năng trong quá trình khai thác [21].	Cần có quy định nghiệm thu, hiệu chuẩn cảm biến, kiểm tra damper/VAV và lưu trữ dữ liệu vận hành khi áp dụng DCV.
Nhật Bản	Chú trọng thông gió nền và kiểm soát nguồn phát thải trong nhà ở từ vật liệu xây dựng và nội thất sau các vấn đề về “bệnh nhà kín” (Sick House Syndrome) [22].	Khi xây dựng hướng dẫn cho nhà ở, ký túc xá và căn hộ, cần thông gió thường xuyên, đồng thời kiểm soát nguồn phát thải formaldehyde và các hợp chất hữu cơ bay hơi.

2.2 Thực trạng tiêu chuẩn thiết kế thông gió tại Việt Nam

Trước năm 2022, lĩnh vực thông gió và kiểm soát chất lượng không khí trong nhà tại Việt Nam còn thiếu hệ thống tiêu chuẩn và hướng dẫn kỹ thuật đồng bộ. QCVN 05:2008/BXD đã đề cập đến các yêu cầu chung về thông gió và điều kiện vi khí hậu trong nhà ở, công trình công cộng, nhưng chưa quy định rõ yêu cầu duy trì “thông gió nền” tối thiểu cho nhà ở, căn hộ hoặc không gian lưu trú dài hạn [23]. TCVN 5687:2010 là tài liệu kỹ thuật chủ yếu được sử dụng trong thiết kế hệ thống thông gió và điều hòa không khí, nhưng chưa quy định đầy đủ các chỉ tiêu kiểm soát chất lượng không khí trong nhà. Vì vậy, trong thực tiễn, nhiều đơn vị tư vấn phải tham chiếu các tiêu chuẩn quốc tế, phổ biến như ASHRAE 62 và EN 15251, để xác định lưu lượng thông gió và các chỉ tiêu IAQ. Đối với các dự án áp dụng chứng nhận công trình xanh như LEED, LOTUS hoặc WELL, việc sử dụng các tiêu chuẩn và bộ tiêu chí bổ sung còn trở nên cần thiết hơn nhằm đáp ứng yêu cầu về thông gió, chất lượng không khí trong nhà, đo lường, kiểm soát và nghiệm thu hệ thống. Việc đồng thời áp dụng nhiều nguồn tài liệu khác nhau đã dẫn đến sự thiếu thống nhất trong lựa chọn thông số thiết kế, phương pháp tính toán, hồ sơ kỹ thuật và quy trình nghiệm thu tại các công trình xây dựng ở Việt Nam.

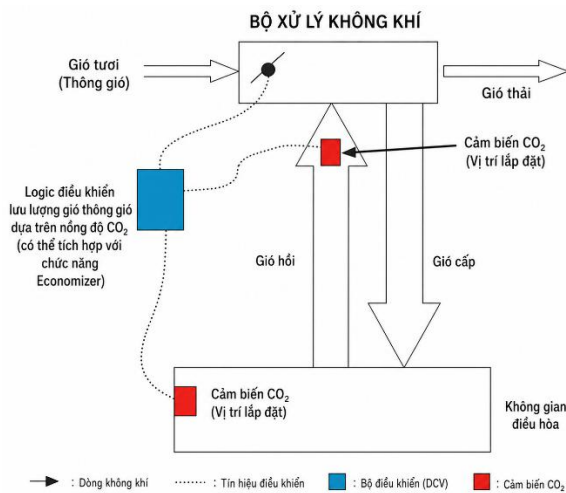
Bối cảnh này đã được cải thiện đáng kể với việc ban hành TCVN 13521:2022 và soát xét TCVN 5687:2024 thay thế TCVN 5687:2010. TCVN 5687 đã tiếp cận phương pháp xác định lưu lượng gió ngoài trên cơ sở kết hợp thành phần theo diện tích sàn và thành phần theo số người, tương đồng với ASHRAE 62.1 [24]. Tuy nhiên, cách áp dụng và

mối liên hệ giữa các thành phần này trong một số trường hợp thiết kế vẫn chưa được hướng dẫn đầy đủ, dẫn đến khả năng diễn giải khác nhau trong thực tế. Đáng chú ý, Điều 10.13 của TCVN 5687:2024 [25] quy định các hệ thống cấp gió ngoài có lưu lượng thiết kế lớn hơn 1,4 m³/s, phục vụ khu vực có mật độ người thiết kế lớn hơn 1 người/m², phải có giải pháp giảm lưu lượng gió ngoài xuống dưới mức thiết kế khi mật độ trong không gian giảm xuống. Quy định này thể hiện nguyên lý cơ bản của thông gió theo nhu cầu và có thể được xem là cơ sở kỹ thuật ban đầu cho việc áp dụng DCV trong tiêu chuẩn Việt Nam. Song song với đó, TCVN 13521:2022 quy định các giá trị giới hạn đối với một số thông số chất lượng không khí trong nhà, bao gồm PM_{2,5}, PM₁₀, CO₂, CO, formaldehyde và hợp chất hữu cơ bay hơi [26, 27]. Sự kết hợp giữa hai tiêu chuẩn bước đầu tạo cơ sở kỹ thuật trong nước để xác định lưu lượng thông gió, thiết lập mục tiêu IAQ và phát triển các giải pháp điều khiển thông gió phù hợp với điều kiện sử dụng thực tế.

Tuy nhiên, hai tiêu chuẩn này mới quy định yêu cầu chức năng giảm lưu lượng gió ngoài khi mật độ sử dụng trong không gian giảm xuống, nhưng chưa hướng dẫn cụ thể về phương pháp xác định mức độ sử dụng, loại và vị trí cảm biến, thuật toán điều khiển, giới hạn lưu lượng tối thiểu, yêu cầu hiệu chuẩn, giám sát và quy trình nghiệm thu hệ thống. Hơn nữa, đối với các hệ thống không thuộc phạm vi lưu lượng và mật độ trên, tiêu chuẩn không đưa ra hướng dẫn kỹ thuật đầy đủ, khiến các đơn vị thiết kế và chủ đầu tư thiếu căn cứ thống nhất để lựa chọn và triển khai giải pháp. Trong TCVN 13521:2022 quy định các giá trị giới hạn của một số thông số chất lượng không khí trong nhà, nhưng chưa thiết lập mối liên hệ giữa các giá trị này và cơ chế điều

chính lưu lượng thông gió theo thời gian thực. Bên cạnh đó, từ ngày 01/01/2026, giá trị giới hạn $PM_{2.5}$ trung bình 24 giờ của không khí xung quanh theo QCVN 05:2023/BTNMT là $45 \mu g/m^3$, thấp hơn giá trị $50 \mu g/m^3$ quy định cho không khí trong nhà tại TCVN 13521:2022. Mặc dù hai giá trị này được xây dựng cho các môi trường và mục đích quản lý khác nhau, sự chênh lệch cho thấy cần tiếp tục rà soát tính đồng bộ của các ngưỡng $PM_{2.5}$ trong các tiêu chuẩn hiện hành tại Việt Nam nhằm nâng cao mức độ bảo vệ sức khỏe người sử dụng công trình.

Trong thực tế, phương thức thông gió lưu lượng không đổi vẫn được áp dụng phổ biến, có thể làm tăng điện năng của quạt và tải xử lý nhiệt ẩm khi không gian ít người; ngược lại, chất lượng không khí trong nhà có thể không được bảo đảm khi mật độ sử dụng hoặc tải ô nhiễm thực tế vượt giá định thiết kế. Những hạn chế này cho thấy sự cần thiết phải có hướng dẫn và từng bước mở rộng áp dụng DCV trong điều kiện Việt Nam.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hệ thống thông gió điều khiển theo nhu cầu [32].

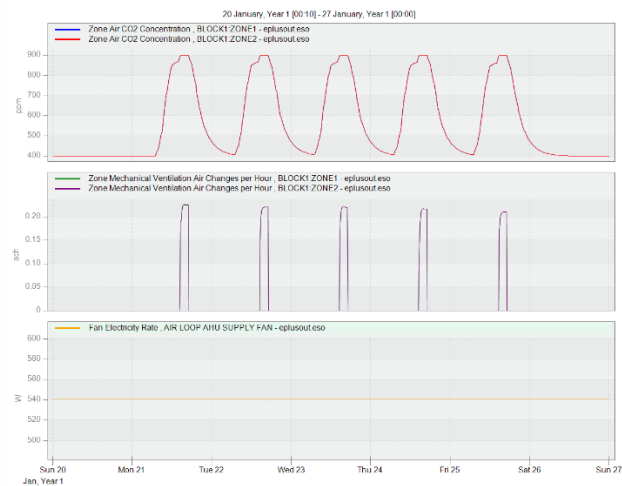
Trong sơ đồ Hình 1, cảm biến CO_2 được đặt trong phòng hoặc trên đường gió hồi để giám sát liên tục nồng độ CO_2 trong không khí trong phòng. Tín hiệu từ cảm biến được truyền đến bộ điều khiển để tự động điều chỉnh lưu lượng gió tươi cấp vào Bộ xử lý không khí theo mức độ sử dụng thực tế, khi nồng độ CO_2 tăng do mật độ người cao, hệ thống tăng lưu lượng gió tươi để duy trì IAQ; khi không gian ít người, hệ thống giảm lưu lượng để tiết kiệm năng lượng xử lý không khí ngoài. Chức năng DCV thường được tích hợp với chế độ Economizer cho phép tận dụng không khí ngoài trời để làm mát tự nhiên (free cooling) khi điều kiện nhiệt độ và độ ẩm ngoài đạt ngưỡng phù hợp, từ đó giảm tải máy lạnh. Kết hợp hai chức năng này, hệ thống DCV-Economizer trong các điều kiện thiết kế và điều khiển phù hợp, có thể hỗ trợ duy trì CO_2 dưới ngưỡng kiểm soát đặt ra, đồng thời giảm thông gió dư khi không gian ít người.

3. Phương pháp thông gió theo nhu cầu và định hướng áp dụng tại Việt Nam

3.1. Phương pháp thông gió theo nhu cầu và tiềm năng áp dụng

Đây là chiến lược kiểm soát lưu lượng thông gió dựa trên mật độ người thực tế của không gian tại mỗi thời điểm, thay vì vận hành theo giá trị cố định. DCV điều chỉnh lưu lượng gió tươi bằng cách đo lường tín hiệu đại diện cho mật độ người, phổ biến nhất là nồng độ CO_2 trong không khí và điều chỉnh hệ thống thông gió tương ứng [28].

Cơ sở khoa học của DCV dựa trên mối quan hệ tuyến tính giữa số người trong phòng và tốc độ phát sinh CO_2 , mỗi người bình thường thải ra khoảng 0,005 lít CO_2 /giây khi nghỉ ngơi và cao hơn khi hoạt động thể lực [29, 30]. Nồng độ CO_2 trong phòng do đó là chỉ số gián tiếp đáng tin cậy cho mật độ người và nhu cầu thông gió. Tiêu chuẩn ASHRAE 62.1 của Hoa Kỳ khẳng định việc sử dụng CO_2 để kiểm soát lưu lượng gió ngoài ngày càng phổ biến để tiết kiệm năng lượng trong các công trình có mật độ người thay đổi, và đã được quy định bắt buộc cho các không gian đông người ASHRAE 90.1 [31].



Hệ thống DCV có thể được phân loại theo phương pháp đo nhu cầu: DCV dựa trên cảm biến CO_2 , đo nồng độ CO_2 trong phòng (vùng thờ) hoặc ống hồi gió và điều chỉnh lưu lượng gió tươi qua bộ điều khiển VAV (Variable Air Volume), ASHRAE 62.1 yêu cầu mỗi phòng trong vùng DCV phải có ít nhất một cảm biến CO_2 khi vùng DCV bao gồm nhiều phòng, và thông gió phải được kiểm soát theo phòng có nhu cầu thông gió cao nhất [28]; DCV dựa trên cảm biến đa thông số IAQ, kết hợp đo CO_2 , VOCs, $PM_{2.5}$, độ ẩm để kiểm soát IAQ; DCV dựa trên số lượng người, sử dụng cảm biến hồng ngoại, camera, hệ thống kiểm soát ra vào để đếm số người thực tế và tính toán lưu lượng gió cần thiết; DCV dựa trên lịch sử sử dụng, kết hợp lịch hoạt động đã lập trình với cảm biến để tối ưu hóa vận hành.

Trong điều kiện khí hậu nóng ẩm, hiệu quả của DCV trước hết cần được nhìn nhận từ khả năng kiểm soát lưu lượng thông gió theo

nhu cầu thực tế, thay vì duy trì lưu lượng gió ngoài cố định theo điều kiện thiết kế bất lợi nhất. Cách tiếp cận này cho phép giảm thông gió khi mật độ người thấp, nhưng vẫn duy trì yêu cầu chất lượng không khí trong nhà khi không gian vẫn được sử dụng. Trong một nghiên cứu về các tòa nhà văn phòng ở Việt Nam cho thấy chưa ghi nhận rõ việc áp dụng giải pháp thông gió theo nhu cầu, giải pháp liên quan đến thông gió tiết kiệm năng lượng bằng HRV cũng chỉ xuất hiện ở 02/30 công trình khảo sát [33]. Điều này cho thấy khoảng trống triển khai còn lớn và tiềm năng tiết kiệm năng lượng từ tối ưu thông gió, đặc biệt là DCV, vẫn rất đáng kể trong các tòa nhà văn phòng ở Việt Nam. Một nghiên cứu mô phỏng cho không gian văn phòng ở khí hậu nhiệt đới cho thấy khi lưu lượng gió ngoài được điều chỉnh theo nhu cầu sử dụng thực tế, hệ thống vẫn bảo đảm yêu cầu IAQ, đồng thời mức tiêu thụ năng lượng trung bình giảm khoảng 38,9% so với phương án thông gió cố định [34]. Tuy nhiên, trong khí hậu nhiệt đới, lợi ích năng lượng của DCV không chỉ nằm ở giảm điện năng từ quạt, mà còn liên quan trực tiếp đến năng lượng để xử lý không khí ngoài, đặc biệt là tải khử ẩm. Nghiên cứu định lượng của Rim và cộng sự về thông gió văn phòng trong khí hậu nhiệt đới cho thấy năng lượng khử ẩm có thể chiếm hơn 80 % năng lượng cần thiết để xử lý không khí ngoài cho thông gió [35]. Tương tự, mô phỏng cho tòa nhà thương mại quy mô lớn tại khu vực nóng ẩm cho thấy kiểm soát không khí ngoài có thể tiết kiệm 12,45 % điện năng và 19,33 % nước lạnh; đồng thời, nhóm giải pháp liên quan đến thông gió đóng góp hơn 60 % tổng tiềm năng tiết kiệm năng lượng của các biện pháp được khảo sát [36]. Các kết quả này cho thấy, đối với công trình điều hòa không khí trong khí hậu nóng ẩm, tối ưu thông gió cần được xem xét đồng thời theo ba khía cạnh: duy trì IAQ, giảm thông gió dư và kiểm soát nhiệt hiện và nhiệt ẩn. Vì vậy, DCV có thể trở thành nhóm giải pháp quan trọng không kém các biện pháp về lớp vỏ công trình, chiếu sáng hoặc nâng cao hiệu suất thiết bị.

Một nghiên cứu thực nghiệm tại văn phòng TP. Hồ Chí Minh về hệ thống VRF kết hợp ERV cho văn phòng 350 m² với 70 người sử dụng cho thấy đặt nhiệt độ trong phòng lên 27 °C và xử lý gió tươi bằng ERV có dàn làm lạnh DX, hệ thống đạt mức tiết kiệm điện năng 30 đến 46 % so với kịch bản đặt nhiệt độ ở mức 24 °C, đồng thời cần duy trì nồng độ CO₂ trong nhà dưới 1000 ppm [37]. Mặc dù không phải nghiên cứu về DCV trực tiếp, nhưng kết quả này đã cung cấp bằng chứng thực nghiệm quan trọng về vai trò của giám sát CO₂, kiểm soát nhiệt độ và xử lý gió tươi trong điều kiện khí hậu nóng ẩm của Việt Nam.

3.2. Cơ hội và định hướng áp dụng DCV tại Việt Nam

Như vậy DCV nên được xem là một chiến lược điều khiển trong hệ thống thông gió, không phải chỉ là việc lắp thêm cảm biến CO₂ mà hệ thống phải có khả năng điều chỉnh lưu lượng gió ngoài, ghi nhận dữ liệu vận hành, cảnh báo lỗi cảm biến và chứng minh được hiệu năng sau nghiệm thu. Trong điều kiện khí hậu nóng ẩm và ô nhiễm không khí, DCV cần được tích hợp với xử lý nhiệt ẩm, ERV/HRV và lọc bụi. Thông số CO₂ phản ánh tốt tải ô nhiễm liên quan đến con người nhưng không đại diện cho PM_{2,5}, TVOC, formaldehyde, mùi hoặc độ ẩm. Vì

vậy, đối với công trình tại đô thị, khu vực hay bị ẩm hoặc công trình mới hoàn thiện nội thất, tín hiệu CO₂ cần được phối hợp với PM_{2,5}, độ ẩm, VOC và trạng thái vận hành của thiết bị lọc, thu hồi nhiệt/thu hồi enthalpy và kiểm soát nhiệt độ điểm sương. Ngoài ra, việc quy định “tự động giảm lưu lượng gió bên ngoài xuống dưới mức thiết kế, khi không gian chỉ một phần có người” trong TCVN 5687:2024, cần có hướng dẫn về vị trí cảm biến, độ chính xác, hiệu chuẩn, thuật toán điều khiển, giới hạn điều chỉnh, nghiệm thu, bảo trì và đánh giá hiệu quả sau vận hành.

Phụ lục E trong TCVN 5687:2024 có tính tương thích cao với nguyên lý thông gió theo nhu cầu. Theo đó, lưu lượng gió ngoài được xác định trên cơ sở hai thành phần: thành phần theo diện tích sàn, phản ánh tải ô nhiễm nền phát sinh từ không gian, vật liệu, đồ nội thất và các hoạt động chung; và thành phần theo số người, phản ánh tải ô nhiễm liên quan trực tiếp đến sự hiện diện của người sử dụng. Cách phân tách này tạo cơ sở thuận lợi để chuyển từ phương pháp thiết kế lưu lượng cố định sang phương pháp điều khiển động trong vận hành. Trong thuật toán DCV, thành phần lưu lượng theo diện tích cần được duy trì như lưu lượng thông gió nền tối thiểu nhằm kiểm soát các nguồn ô nhiễm không phụ thuộc vào mật độ người. Ngược lại, thành phần lưu lượng theo số người có thể được điều chỉnh theo mật độ sử dụng thực tế hoặc thông qua tín hiệu đại diện, điển hình là nồng độ CO₂. Điều này cho thấy TCVN 5687:2024 đã hàm chứa nguyên lý và yêu cầu chức năng của DCV đối với một số trường hợp áp dụng, đồng thời tạo nền tảng kỹ thuật để phát triển các hướng dẫn điều khiển thông gió theo nhu cầu phù hợp với điều kiện Việt Nam.

Bên cạnh đó, TCVN 13521:2022 quy định giá trị giới hạn CO₂ trong nhà ở và nhà công cộng, có thể sử dụng làm ngưỡng kiểm soát hoặc setpoint cho hệ thống DCV. Như vậy, sự kết hợp giữa TCVN 5687:2024 và TCVN 13521:2022 cung cấp cơ sở kỹ thuật ban đầu để xây dựng thuật toán DCV phù hợp với điều kiện Việt Nam, vừa duy trì lưu lượng thông gió nền theo diện tích, vừa điều chỉnh linh hoạt phần thông gió theo người nhằm bảo đảm chất lượng không khí trong nhà và giảm thông gió dư thừa trong vận hành.

Trên cơ sở của TCVN 5687:2024 và các giới hạn IAQ của TCVN 13521:2022, có thể đề xuất quy trình áp dụng DCV theo sáu bước.

- Bước 1 là phân loại không gian: ưu tiên các khu vực có mật độ người thay đổi lớn như hội trường, giảng đường, phòng họp, nhà hàng, rạp chiếu phim, trung tâm thương mại và khu vực chờ.
- Bước 2 là xác định lưu lượng gió ngoài thiết kế theo TCVN 5687:2024, tách rõ thành phần theo diện tích và thành phần theo số người.
- Bước 3 là lựa chọn tín hiệu điều khiển phù hợp. Với không gian chủ yếu ô nhiễm do người, CO₂ có thể là tín hiệu chính; với nhà ở, căn hộ, phòng ngủ, phòng vệ sinh, khu vực ẩm hoặc công trình mới hoàn thiện, cần bổ sung tín hiệu về độ ẩm, VOC hoặc PM_{2,5}.
- Bước 4 là thiết lập giới hạn điều khiển, bao gồm giới hạn thấp, giới hạn cao, chế độ cảnh báo và điều kiện chuyển đổi giữa các trạng thái vận hành; riêng nhà ở cần thêm nguyên tắc thông gió nền tối thiểu.
- Bước 5 là tích hợp xử lý không khí ngoài theo yêu cầu kỹ thuật của từng loại công trình và điều kiện môi trường xung quanh.

- Bước 6 là nghiệm thu và vận hành: kiểm tra vị trí cảm biến, hiệu chuẩn, tỷ lệ đóng mở của damper/VAV/quạt biến tần, khả năng duy trì CO₂ theo TCVN 13521:2022, dữ liệu xu thế trên BMS và kế hoạch bảo trì định kỳ.

Như vậy DCV cần được tiếp cận như một giải pháp kỹ thuật, triển khai phù hợp, bắt đầu từ các công trình thí điểm để kiểm chứng hiệu quả về IAQ, năng lượng và vận hành. Trên cơ sở dữ liệu thực nghiệm thu được, có thể từng bước hoàn thiện hướng dẫn kỹ thuật về thiết kế, điều khiển, nghiệm thu và bảo trì, từ đó mở rộng áp dụng trong thực tiễn. Cách tiếp cận này giúp DCV trở thành một giải pháp thực hiện tiêu chuẩn có cơ sở kỹ thuật rõ ràng, thay vì chỉ được xem như một lựa chọn thiết bị bổ sung trong hệ thống thông gió và điều hòa không khí.

4. Kết luận và kiến nghị

Thông gió theo nhu cầu là giải pháp kỹ thuật có cơ sở khoa học và thực tiễn nhằm điều chỉnh lưu lượng gió ngoài theo mức độ sử dụng thực tế của không gian. Giải pháp này có khả năng hạn chế thông gió dư thừa, giảm năng lượng xử lý không khí ngoài và hỗ trợ duy trì chất lượng không khí trong nhà, đặc biệt tại các công trình điều hòa không khí có mật độ người biến động như văn phòng, trường học, phòng họp, hội trường, nhà hàng và trung tâm thương mại. Các bằng chứng nghiên cứu và kinh nghiệm khu vực cho thấy DCV chỉ phát huy hiệu quả khi được triển khai tổng thể như một chiến lược điều khiển, giám sát và đánh giá vận hành, thay vì chỉ là việc lắp đặt thêm cảm biến CO₂ hoặc áp dụng một thuật toán điều khiển đơn lẻ.

TCVN 5687:2024 và TCVN 13521:2022 đã tạo nền tảng quan trọng cho thiết kế thông gió và kiểm soát chất lượng không khí trong nhà tại Việt Nam. Trong đó, TCVN 5687:2024 cung cấp cơ sở xác định lưu lượng gió ngoài, còn TCVN 13521:2022 đưa ra các giá trị giới hạn đối với một số thông số IAQ như CO₂, formaldehyde và TVOC. Đặc biệt, Điều 10.13 của TCVN 5687:2024 có thể xem là điểm khởi đầu cho việc áp dụng DCV trong tiêu chuẩn quốc gia, khi yêu cầu hệ thống có khả năng tự động giảm lưu lượng gió ngoài trong trường hợp không gian chỉ được sử dụng một phần. Tuy nhiên, phạm vi áp dụng hiện nay mới tập trung vào các hệ thống có lưu lượng gió ngoài lớn và mật độ người cao; trong khi đó, nhiều công trình có lưu lượng nhỏ hơn vẫn có tiềm năng áp dụng DCV đáp ứng được cả IAQ và năng lượng.

Khoảng trống lớn nhất hiện nay là các tiêu chuẩn chưa có hướng dẫn kỹ thuật chi tiết về thiết kế, lựa chọn và bố trí cảm biến, thuật toán điều khiển, giới hạn lưu lượng tối thiểu, hiệu chuẩn, nghiệm thu, bảo trì và đánh giá hiệu quả sau vận hành. Vì vậy, các cơ quan liên quan nên xem xét bổ sung phụ lục hoặc hướng dẫn kỹ thuật về DCV trong các lần cập nhật tiêu chuẩn. Nội dung hướng dẫn cần bao gồm: định nghĩa và phân loại hệ thống DCV; yêu cầu kỹ thuật đối với cảm biến CO₂ và các cảm biến IAQ khác; phương pháp xác định lưu lượng gió ngoài tối thiểu, lưu lượng thiết kế và giới hạn điều chỉnh theo thời gian thực; yêu cầu tích hợp lọc bụi, xử lý nhiệt ẩm và thu hồi nhiệt/thu hồi enthalpy phù hợp với điều kiện khí hậu nóng ẩm; đồng thời quy định

phương pháp nghiệm thu, hiệu chuẩn cảm biến, giám sát dữ liệu vận hành và đánh giá hiệu quả sau khi công trình đưa vào sử dụng.

Để hoàn thiện cơ sở dữ liệu trong nước, cần triển khai các nghiên cứu thực địa đo lường đồng thời chất lượng không khí trong nhà và năng lượng tiêu thụ tại các công trình áp dụng DCV và thông gió cố định ở nhiều loại hình khác nhau như văn phòng, trường học, bệnh viện, nhà hàng và công trình thương mại. Các nghiên cứu này nên được thực hiện tại các vùng khí hậu đặc trưng của Việt Nam nhằm đánh giá đầy đủ ảnh hưởng của nhiệt độ, độ ẩm, chất lượng không khí ngoài trời và chế độ vận hành đến hiệu quả của DCV. Đặc biệt, cần ưu tiên nghiên cứu hiệu quả kết hợp giữa DCV với ERV/HRV, lọc bụi PM_{2.5} và kiểm soát tải ẩn trong điều kiện khí hậu nóng ẩm.

Bên cạnh công trình công cộng và thương mại, ứng dụng DCV trong nhà ở, căn hộ và ký túc xá cũng là hướng nghiên cứu cần được quan tâm. Đối với nhóm công trình này, DCV không nên được hiểu là giảm lưu lượng thông gió về "0" khi không có người, mà cần duy trì một mức thông gió nền tối thiểu để kiểm soát độ ẩm, mùi, formaldehyde, VOC và phát thải từ vật liệu, đồ nội thất. Trên nền thông gió tối thiểu đó, hệ thống có thể tăng cường lưu lượng theo nhu cầu thực tế dựa trên CO₂, độ ẩm, VOC hoặc PM_{2.5}.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Klepeis, N.E., et al.(2001). The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of exposure science & environmental epidemiology*, 11(3): p. 231-252.
- [2]. Leech, J.A., et al.(2002). It's about time: a comparison of Canadian and American time-activity patterns. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 12(6): p. 427-432.
- [3]. Yang, W., et al.(2009). Indoor air quality investigation according to age of the school buildings in Korea. *Journal of environmental management*, 90(1): p. 348-354.
- [4]. Lee, S.C., W.-M. Li, and C.-H. Ao.(2002). Investigation of indoor air quality at residential homes in Hong Kong—case study. *Atmospheric Environment*, 36(2): p. 225-237.
- [5]. Huang, Y., et al.(2011). Characteristics and health impacts of VOCs and carbonyls associated with residential cooking activities in Hong Kong. *Journal of hazardous materials*, 186(1): p. 344-351.
- [6]. Ramalho, O., et al. *French permanent survey on indoor air quality-Part 1.: Measurement protocols and quality control*. in *Healthy Building'2006*. 2006.
- [7]. Kirchner, S., et al. *Indoor air quality in French dwellings*. in *Indoor Air 2008*. 2008.
- [8]. Cheng, M. and S. Brown. *VOCs identified in Australian indoor air and product emission environments*. in *Proceedings of National Clean Air Conference*. 2003.
- [9]. Nguyễn Thành Trung.(2026). Kiểm soát chất lượng không khí trong nhà giai đoạn đầu vận hành: Kinh nghiệm quốc tế và khuyến nghị cho Việt Nam. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, 20(1V): p. 69-81.
- [10]. Dominutti, P.A.(2024). Disentangling fine particles (PM_{2.5}) composition in Hanoi, Vietnam: Emission sources and oxidative potential. *Science of the Total Environment*.
- [11]. Huệ, N.T., et al.(2026). Diễn biến nồng độ bụi PM_{2.5} ở một số khu vực trung tâm Thành phố Hà Nội và đề xuất một số giải pháp kiểm soát ô nhiễm bụi PM_{2.5}. *Tạp chí Vật liệu và Xây dựng-Bộ Xây dựng*, 16(01): p. 232-Trang 239.

- [12]. Le, H.A. and T.Q.L. Vu.(2020). Investigation of Indoor and Outdoor Air Quality at Elementary Schools in Hanoi, Vietnam. *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*.
- [13]. Hamanaka, R.B. and G.M. Mutlu.(2018). Particulate matter air pollution: effects on the cardiovascular system. *Frontiers in endocrinology*, 9: p. 680.
- [14]. Trung, N.T., et al.(2021). Polycyclic aromatic hydrocarbons in airborne particulate matter samples from Hanoi, Vietnam: Particle size distribution, aryl hydrocarbon ligand receptor activity, and implication for cancer risk assessment. *Chemosphere*, 280: p. 130720.
- [15]. Wong, N.H., E. Tan, and A.S. Adelia.(2020). *Utilization of Natural Ventilation for Hot and Humid Singapore*, in Sustainable Building for a Cleaner Environment, Springer: Singapore.
- [16]. Song, Y. and S.S.Y. Lau.(2019). Connecting Theory and Practice: An Overview of the Natural Ventilation Standards and Design Strategies for Non-Residential Buildings in Singapore. *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development*, 7(3): p. 81-100.
- [17]. Nurjannah, A. and A.R. Trihamdani. *Energy Saving Effort for Residential Buildings in the Hot and Humid Climate: A Review on Ventilation Performance Requirements*. 2022.
- [18]. Razali, M.A., et al.(2024). Assessment of Indoor Air Quality Performance in a Building at Kemaman Terengganu. *International Journal of Integrated Engineering*, 16(2): p. 227-236.
- [19]. Nguansonsakul, O., et al.(2024). Dynamic Window Technologies for Energy Efficiency in Condominiums in Tropical Climates. *Sustainability*, 16(23): p. 10170.
- [20]. Zali, M., et al.(2015). *Establishment of baseline data of the indoor air quality of offices in Metro Manila*. 2015.
- [21]. Electrical and H.G. Mechanical Services Department. 2024, *Code of Practice for Energy Efficiency of Building Services Installation*: Hong Kong.
- [22]. Ministry of Land, I.T. and J. Tourism. 2003, *Amendment of the Building Standard Law concerning measures against Sick House Syndrome and requirements for ventilation equipment in habitable rooms*: Tokyo.
- [23]. Bộ Xây dựng. 2008, *QCXDVN 08:2005/BXD - Nhà ở và công trình công cộng – An toàn sinh mạng và sức khỏe*.
- [24]. Ashrae. 2022, *ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2022: Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers: Atlanta.
- [25]. *TCVN 5687:2024 – Thông gió và điều hòa không khí – Yêu cầu thiết kế*, Bộ Khoa học và Công nghệ.
- [26]. *TCVN 13521:2022 – Nhà ở và nhà công cộng – Các thông số chất lượng không khí trong nhà*, Bộ Khoa học và Công nghệ.
- [27]. Phạm, T.H.H.(2022). Một số nội dung cơ bản của tiêu chuẩn TCVN 13521:2022 về chất lượng không khí trong nhà đối với bảo vệ sức khỏe con người. *Tạp chí Môi trường*.
- [28]. Ashrae. 2022, *ASHRAE 62.1-2022, Section 6.2.6.1.3: CO2 Sensor Requirements for Demand Controlled Ventilation*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers: Atlanta.
- [29]. Persily, A. and L. de Jonge.(2017). Carbon dioxide generation rates for building occupants. *Indoor Air*, 27(5): p. 868-879.
- [30]. Testing, A.S.f. and Materials. *ASTM D6245-18: Standard Guide for Using Indoor Carbon Dioxide Concentrations to Evaluate Indoor Air Quality and Ventilation*. 2018. ASTM.
- [31]. ASHRAE, A.S.(2022). 90.1-Energy Standard for Sites and Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. *Atlanta, Georgia*.
- [32]. DesignBuilder Software, L.(2024). DCV Modelling. *DesignBuilder Help v7.3*.
- [33]. Huệ, N.T., et al.(2025). Giải pháp giảm thiểu phát thải các-bon vận hành trong các tòa nhà văn phòng. *Tạp chí Vật liệu và Xây dựng-Bộ Xây dựng*, 15(06): p. 141-149.
- [34]. Mustapha, M.A., et al. 2024, *Evaluation of demand control ventilation impact on indoor air quality and energy efficiency of an office space in a tropical climate*, Research Square.
- [35]. Rim, D., S. Schiavon, and W.W. Nazaroff.(2015). Energy and cost associated with ventilating office buildings in a tropical climate. *PLoS ONE*, 10(3): p. e0122310.
- [36]. Ryu, D. and W. Yoo.(2025). Ventilation-dominated energy savings in large commercial buildings: Multi-measure assessment revealing HVAC optimization priorities for hot-humid climates. *Case Studies in Thermal Engineering*, 74: p. 107034.
- [37]. Huynh, P.H. and A.T. Ha.(2026). Experimental investigation of the performance of air-conditioning system with excessive cooling protection for thermal comfort and energy efficiency. *Tạp chí Xây dựng*: p. 257-262.