

# Ứng dụng giải pháp thông gió thu hồi năng lượng (ERV) nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng trong các tòa nhà

Application of energy recovery ventilation (ERV) solutions to enhance energy efficiency in buildings

> THS NGUYỄN CÔNG THỊNH<sup>1</sup>, PGS.TS NGUYỄN ĐỨC LƯỢNG<sup>2\*</sup>, THS HOÀNG XUÂN HÒA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Vụ Khoa học Công nghệ và Môi trường, Bộ Xây dựng

<sup>2</sup>Khoa Kỹ thuật môi trường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

## TÓM TẮT

Các hệ thống thông gió và điều hòa không khí (HVAC) thường chiếm lượng tiêu thụ năng lượng lớn nhất trong tổng tiêu thụ năng lượng của tòa nhà. Do đó, cải thiện hiệu suất năng lượng của hệ thống HVAC đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng trong các tòa nhà. Ứng dụng công nghệ thông gió thu hồi năng lượng (ERV) trong các hệ thống HVAC là một trong những giải pháp tiềm năng trong việc giảm thiểu tiêu thụ năng lượng của hệ thống HVAC. Mục tiêu chính của nghiên cứu này là phân tích, đánh giá các công nghệ thu hồi nhiệt bao gồm (1) Thiết bị trao đổi nhiệt quay, (2) Thiết bị trao đổi nhiệt dạng tấm cố định, (3) Thiết bị trao đổi nhiệt dạng ống, (4) Thiết bị trao đổi nhiệt dạng chạy vòng quanh và ứng dụng của chúng trong các hệ thống HVAC. Các kết quả nghiên cứu có thể góp phần cung cấp cơ sở khoa học và thực tiễn trong định hướng thúc đẩy ứng dụng công nghệ ERV nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng trong các tòa nhà ở Việt Nam.

**Từ khóa:** Hệ thống thông gió và điều hòa không khí (HVAC); hiệu quả năng lượng; thiết bị trao đổi nhiệt quay; thiết bị trao đổi nhiệt dạng tấm cố định; thiết bị trao đổi nhiệt dạng ống; thiết bị trao đổi nhiệt dạng chạy vòng quanh.

## ABSTRACT

The heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems often account for the largest amount of energy consumption in buildings' total energy consumption. Therefore, improving the energy efficiency of HVAC systems plays an important role in enhancing energy efficiency in buildings. Applying energy recovery ventilation (ERV) technology in HVAC systems is one of the potential solutions in reducing energy consumption of HVAC systems. The main objective of this study is to analyze and evaluate heat recovery technologies including (1) Rotary heat exchanger, (2) Fixed plate heat exchanger, (3) Heat pipe, and (4) Run around and their applications in HVAC systems. The research results can contribute in providing the scientific and practical basis in promoting the application of ERV technology to improve energy efficiency in buildings in Vietnam.

**Key words:** Heating; ventilation; and air conditioning (HVAC); energy efficiency; rotary heat exchanger; fixed plate heat exchanger; heat pipe; run around.

## 1. GIỚI THIỆU

Lĩnh vực tòa nhà là đối tượng sử dụng năng lượng lớn nhất trong ngành Xây dựng ở các nước trên thế giới và Việt Nam. Theo số liệu thống kê, các tòa nhà hiện tiêu thụ khoảng trên dưới 40% tổng nhu cầu năng lượng trên toàn thế giới. Hệ thống thông gió và điều hòa không khí (HVAC) thường chiếm tới 40-60% tổng tiêu thụ năng lượng của tòa nhà tùy theo điều kiện khí hậu thời tiết. Mặt khác, việc phát triển các tòa nhà tiêu thụ năng lượng rất thấp, tòa nhà cân bằng năng lượng và tòa nhà phát thải ròng bằng không với việc sử dụng giải pháp cách nhiệt tốt hơn và kết cấu bao che kín hơn ngày càng được thúc đẩy ở nhiều quốc gia nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng trong các tòa nhà. Tuy nhiên, những giải pháp như vậy cũng dẫn đến giảm sự trao đổi không khí giữa bên trong và bên ngoài nhà, cung cấp không đủ lượng không khí tươi cần thiết và làm

suy giảm chất lượng không khí trong nhà. Điều này có tác động tiêu cực đến năng suất làm việc và sức khỏe của con người sống và làm việc bên trong công trình. Để tăng cường khả năng thông gió và cải thiện chất lượng không khí bên trong công trình, hệ thống thông gió cơ khí thường được sử dụng. Song, một lượng nhiệt lớn bị thất thoát theo không khí thải khi sử dụng hệ thống thông gió cơ khí trong các tòa nhà (Zender-Swiercz, 2021). Điều đó dẫn đến yêu cầu tiêu thụ một lượng điện rất lớn để xử lý không khí tươi cấp vào bên trong tòa nhà (Tian và cộng sự, 2022). Và như vậy sẽ dẫn đến việc cần sử dụng nhiều năng lượng hơn để tạo ra một môi trường có chất lượng tốt và điều kiện tiện nghi thoải mái cho con người sống và làm việc bên trong công trình. Vì vậy, để giảm mức tiêu thụ năng lượng của hệ thống thông gió, cần thu hồi năng lượng hàm chứa trong luồng không khí thải từ bên trong ra bên ngoài nhà. Hiện nay,

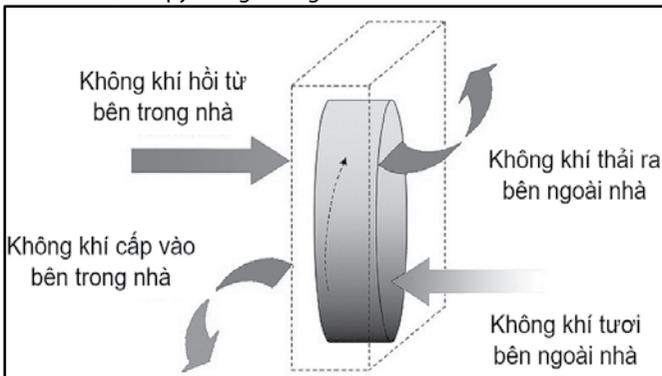
các thiết bị thu hồi năng lượng từ không khí có thể được phân thành 04 loại chính bao gồm (1) Thiết bị trao đổi nhiệt quay, (2) Thiết bị trao đổi nhiệt dạng tấm cố định, (3) Thiết bị trao đổi nhiệt dạng ống và (4) Thiết bị trao đổi nhiệt dạng chạy vòng quanh. Mục tiêu chính của nghiên cứu này là phân tích, đánh giá các công nghệ thu hồi năng lượng và ứng dụng của chúng trong các hệ thống HVAC nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng trong các tòa nhà.

**2. CÁC CÔNG NGHỆ THU HỒI NĂNG LƯỢNG**

**2.1. Thiết bị trao đổi nhiệt quay**

Nguyên lý hoạt động của thiết bị trao đổi nhiệt quay (hay bánh xe nhiệt - Hình 1) dựa trên sự tích tụ nhiệt định kỳ trong khối lưu trữ quay (Xu và cộng sự, 2019). Thiết bị gồm một bánh xe làm bằng vật liệu xốp quay truyền nhiệt từ luồng không khí này sang luồng không khí khác. Điểm hạn chế của loại thiết bị trao đổi nhiệt này là khả năng xảy ra ô nhiễm chéo cũng như tổn thất áp suất cao. Để khắc phục tổn thất áp suất, có thể sử dụng thêm máy quạt để duy trì lưu lượng của dòng không khí (Zender-Swiercz, 2021).

Hiệu suất thu hồi nhiệt trong thiết bị trao đổi nhiệt quay được đo chủ yếu bằng hiệu suất nhiệt của thiết bị trao đổi và tổng tổn thất áp suất trên lõi quay, yếu tố này quyết định công suất cần thiết của máy quạt (Zender-Swiercz, 2021). Đối với thiết bị trao đổi nhiệt quay, dựa trên đặc tính của vật liệu phủ bề mặt, lượng nhiệt hiện hoặc nhiệt ẩn có thể được thu hồi bằng bánh xe năng lượng và tổng hiệu suất thường nằm trong khoảng từ 65% đến 80% (Bai và cộng sự, 2022) hoặc thậm chí cao hơn 80% (Mardiana-Idayu và Riffat, 2012). Hiệu suất tổng thể của thiết bị trao đổi nhiệt quay nhìn chung cao hơn nhiều so với các hệ thống thu hồi nhiệt khác do tính chất của bánh xe nhiệt, cho phép nhiệt truyền từ dòng không khí thải sang dòng không khí cấp vào bên trong nhà mà không cần phải truyền trực tiếp thông qua môi trường trao đổi nhiệt. Bên cạnh đó, thiết bị trao đổi nhiệt quay cũng đã được chứng minh là một trong những giải pháp hiệu quả nhất để xử lý hơi ẩm trong không khí tươi cấp vào bên trong nhà qua hệ thống thông gió (Xu và cộng sự, 2019). Thiết bị trao đổi nhiệt quay có thể thu hồi cả nhiệt hiện và nhiệt ẩn, do đó nó có thể đóng vai trò là bánh xe hút ẩm để khử ẩm và thu hồi entanpy trong không khí.



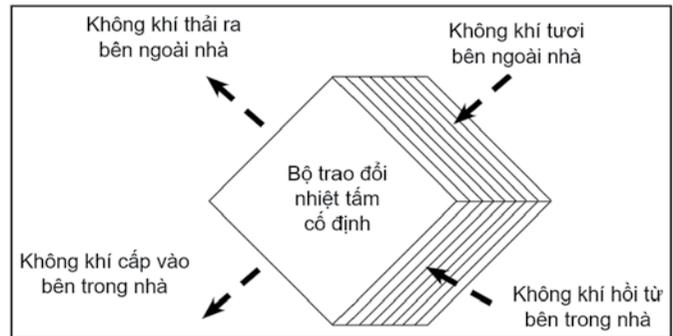
Hình 1. Thiết bị trao đổi nhiệt quay

**2.2. Thiết bị trao đổi nhiệt dạng tấm cố định**

Thiết bị trao đổi nhiệt dạng tấm cố định (Xu và cộng sự, 2019) bao gồm một số tấm mỏng (tấm nhẵn hoặc dạng sóng) làm bằng vật liệu kim loại, nhựa hoặc xốp, được xếp chồng lên nhau để tạo kênh dòng chảy cho luồng không khí (Hình 2). Có ba kiểu sắp xếp luồng không khí, bao gồm kiểu luồng ngược, luồng chéo và luồng song song. Khi các tấm được làm bằng vật liệu có tính dẫn nhiệt và hút ẩm, chúng đóng vai trò là một bộ trao đổi nhiệt entanpy. Sử dụng các tấm màng xốp thay vì các tấm kim loại thông thường có thể thu hồi cả nhiệt hiện và nhiệt ẩn. Hiệu suất thu hồi nhiệt của loại

thiết bị này vào khoảng 75% đối với nhiệt hiện và 60% đối với nhiệt ẩn (Mardiana-Idayu và Riffat, 2012).

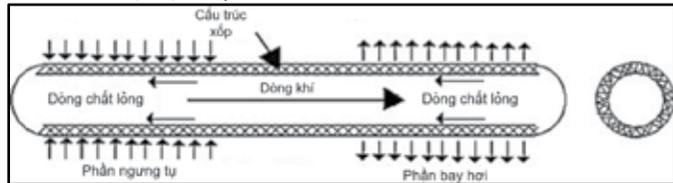
Khi các tấm (bao gồm cả tấm kim loại và tấm nhựa, v.v.) không thể hấp thụ hơi ẩm, thì độ dẫn nhiệt của vật liệu và hình dạng tấm có vai trò quan trọng trong việc thu hồi nhiệt hiện. Các yếu tố có thể ảnh hưởng đến hiệu suất truyền nhiệt của thiết bị thu hồi nhiệt dạng tấm cố định bao gồm: kiểu tấm và kết cấu tấm (cách sắp xếp và hướng khác nhau của các tấm) (Khan và cộng sự, 2010; Abu-Khader, 2012); vật liệu trao đổi nhiệt (Lu và cộng sự, 2010; Nasif và cộng sự, 2010); kiểu dòng chảy (Gherasim và cộng sự, 2011). Điểm hạn chế của các thiết bị trao đổi nhiệt dạng tấm cố định là nguy cơ tích tụ nước ngưng trong các tấm, có thể làm giảm đáng kể hiệu suất của thiết bị trao đổi nhiệt (Fernandez-Seara, 2011). Ngoài ra, việc lắp đặt thiết bị ở những khu vực có nhiệt độ không khí bên ngoài thấp sẽ dẫn đến hiện tượng đóng băng chất ngưng tụ gây cản trở luồng không khí, dẫn đến giảm hiệu suất thu hồi nhiệt và gia tăng chênh lệch áp suất trong phòng (Nasr và cộng sự, 2014).



Hình 2. Thiết bị trao đổi nhiệt dạng tấm cố định.

**2.3. Thiết bị trao đổi nhiệt dạng ống**

Hệ thống thu hồi nhiệt sử dụng thiết bị trao đổi nhiệt dạng ống để truyền nhiệt kết hợp nguyên lý dẫn nhiệt và thay đổi pha để truyền nhiệt một cách hiệu quả giữa hai bề mặt rắn. Thiết bị trao đổi nhiệt dạng ống điển hình bao gồm hai ống kín chứa đầy chất lỏng công tác (Yau và Ahmadzadehtalatapeh, 2010). Chất lỏng trong ống trải qua các quá trình thay đổi pha liên tục trong bộ phận bay hơi và bộ phận ngưng tụ để thực hiện truyền nhiệt. Thiết bị trao đổi nhiệt dạng ống truyền năng lượng nhiệt từ bên này sang bên kia với chênh lệch nhiệt độ nhỏ (Kreith và cộng sự, 2012). Trong quá trình vận hành, chất lỏng ngưng tụ di chuyển đến bộ phận bay hơi do cấu trúc bậc của ống gây tác dụng lực mao dẫn hoặc lực hấp dẫn.



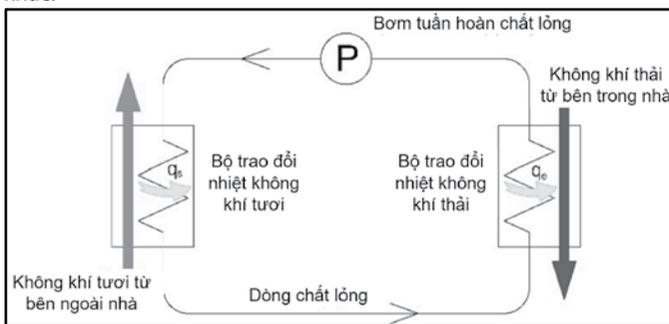
Hình 3. Thiết bị trao đổi nhiệt dạng ống.

Thiết bị trao đổi nhiệt dạng ống thông thường có thể đạt được hiệu suất nhiệt khoảng 45-55% (Chaudhry và cộng sự, 2012; Maurer và cộng sự, 2017). Các thí nghiệm đã chứng minh rằng hiệu suất của hệ thống thu hồi nhiệt sử dụng thiết bị trao đổi nhiệt dạng ống trong công trình sử dụng thông gió tự nhiên có thể đạt 50% với tổn thất áp suất dưới 1 Pa (Shao và cộng sự, 1997). Khi tăng tốc độ dòng không khí thì hiệu suất sẽ giảm và xảy ra nguy cơ sự tiếp xúc nhiệt giữa các tấm và ống nhiệt có thể không đạt tiêu chuẩn (Gan và Riffat, 1997). Các yếu tố chính có thể ảnh hưởng đến hiệu quả của thiết bị trao đổi nhiệt dạng ống bao gồm chất lỏng công tác, sự sắp xếp của các ống, vận tốc dòng không khí và nhiệt độ đầu vào của bộ phận

bay hơi (Srimuang và Amatachaya, 2012; Ersöz và Yildiz, 2016). Thiết bị trao đổi nhiệt dạng ống đặt hiệu suất tối ưu khi nhiệt độ không khí tươi bên ngoài nhà gần với nhiệt độ làm việc của chất lỏng bên trong ống dẫn nhiệt (Abd El-Baky và Mohamed, 2007). Trong điều kiện mùa đông và mùa hè, khi chênh lệch nhiệt độ giữa không khí bên trong và bên ngoài công trình lớn hơn thì hiệu suất thu hồi nhiệt của thiết bị cao hơn (Diaio và cộng sự, 2017).

**2.4. Thiết bị trao đổi nhiệt dạng chạy vòng quanh**

Thiết bị trao đổi nhiệt dạng chạy vòng quanh (Zender-Swiercz, 2021) bao gồm hai bộ trao đổi nhiệt được kết nối trong một hệ thống tuần hoàn kín chứa chất lỏng (có thể là nước hoặc chất hút ẩm dạng lỏng đóng vai trò là môi trường truyền nhiệt trung gian) được bơm liên tục giữa hai bộ trao đổi nhiệt (Hình 4). Nhiệt được truyền từ phía không khí thải từ bên trong nhà sang phía không khí tươi được cấp vào bên trong nhà thông qua môi trường truyền nhiệt. Hệ thống này cần cung cấp năng lượng để vận hành máy bơm nhưng ít tổn năng lượng hơn so với năng lượng cần sử dụng cho máy quạt để tuần hoàn không khí trong các thiết bị trao đổi nhiệt khác.



**Hình 4.** Thiết bị trao đổi nhiệt dạng chạy vòng quanh

Thiết bị trao đổi nhiệt dạng chạy vòng quanh có thể tránh được ô nhiễm chéo do sự tách biệt của hai bộ trao đổi nhiệt (Vali và cộng sự, 2009). Tốc độ trao đổi nhiệt của thiết bị có thể dao động từ 45% đến 65% trong điều kiện hoạt động bình thường (Mardiana-Idayu và Riffat, 2012). Sử dụng thiết bị trao đổi nhiệt dạng chạy vòng quanh trong tòa nhà có thể giúp tăng tốc độ lưu thông không khí của hệ thống thông gió mà không làm tăng mức tiêu thụ năng lượng (Xu và cộng sự, 2019). Đối với hiệu suất nhiệt của thiết bị trao đổi nhiệt dạng chạy vòng quanh, kết quả thử nghiệm cho thấy rằng đối với tổng diện tích bề mặt xác định của các bộ trao đổi nhiệt, hiệu suất thu hồi nhiệt hiện cao nhất đạt được khi không có nhiều sự chênh lệch về diện tích bề mặt của các bộ trao đổi nhiệt (Vali và cộng sự, 2009). Ngoài ra, hiệu suất của thiết bị trao đổi nhiệt dạng chạy vòng quanh cũng phụ thuộc đáng kể vào điều kiện môi trường không khí bên ngoài nhà (Xu và cộng sự, 2019).

**3. ỨNG DỤNG CỦA THIẾT BỊ THU HỒI NĂNG LƯỢNG TRONG HỆ THỐNG THÔNG GIÓ, ĐIỀU HÒA KHÔNG KHÍ**

Ứng dụng công nghệ thông gió thu hồi năng lượng (ERV) đang ngày càng trở nên phổ biến như một giải pháp để giảm mức tiêu thụ năng lượng trong các tòa nhà. Nguyên tắc cơ bản của các hệ thống ERV là thu hồi năng lượng trong luồng không khí được thải ra từ bên trong tòa nhà mà lẽ ra sẽ bị thất thoát khi thực hiện thông gió cho tòa nhà và tận dụng tối đa năng lượng được thu hồi đó để xử lý nhiệt/ẩm đối với không khí tươi được cấp vào bên trong tòa nhà. Điều này giúp duy trì chất lượng môi trường và điều kiện tiện nghi nhiệt bên trong tòa nhà, đồng thời giảm lượng năng lượng cần thiết để sưởi và/hoặc làm mát tòa nhà. Nghiên cứu của nhóm tác giả Manz và Huber (2000) cho thấy sử dụng hệ thống thông gió cơ khí yêu cầu tiêu thụ nhiều năng lượng điện và có thể làm tăng mức tiêu

thụ điện của hộ gia đình lên tới 50%. Nghiên cứu của nhóm tác giả Tommerup và Svendsen (2006) đã cho thấy với việc ứng dụng công nghệ thu hồi nhiệt, có thể thu hồi tới 90% lượng nhiệt thất thoát do thông gió (khoảng 30-35 kWh/m<sup>2</sup> mỗi năm) tùy thuộc vào độ kín và khả năng cách nhiệt của tòa nhà. Nghiên cứu của Liu và cộng sự (2024) cho thấy khoảng 60%-95% năng lượng thất thoát do hệ thống thông gió có thể được thu hồi và tái sử dụng thông qua việc sử dụng các thiết bị ERV. Ngoài ra, việc sử dụng các thiết bị ERV cũng có thể giảm chi phí đầu tư và chi phí năng lượng cho vận hành các hệ thống, máy điều hòa không khí trong công trình.

So với hệ thống thông gió trung tâm, tổn thất áp suất trong hệ thống thông gió cục bộ có thể được giảm đáng kể do sử dụng đường ống dẫn không khí ngắn hơn. Một số nghiên cứu đã thử nghiệm hiệu suất của các thiết bị thu hồi nhiệt ứng dụng trong hệ thống thông gió cục bộ tương ứng với các điều kiện ngoài trời khác nhau. Nghiên cứu của Baldini và cộng sự (2014) cho thấy với điều kiện nhiệt độ môi trường khoảng 30°C và độ ẩm 20 g/kg, việc áp dụng thiết bị thông gió thu hồi nhiệt có thể giúp tiết kiệm khoảng 4-5% nhu cầu năng lượng làm mát cho công trình. Nghiên cứu của Smith và cộng sự (2015) sử dụng thiết bị trao đổi nhiệt quay với bánh xe nhiệt được làm bằng vật liệu nhựa và được lắp đặt ở vị trí lỗ thông gió trên tường ngoài của phòng được thông gió, do đó không yêu cầu nhiều không gian lắp đặt. Kết quả thử nghiệm cho thấy hệ thống có thể thu hồi khoảng 84% lượng nhiệt hiện với lưu lượng thông gió là 7,8 L/s]. Nhóm tác giả Coydon và cộng sự (2015) đã đánh giá hiệu quả ứng dụng của bộ trao đổi nhiệt dạng tấm kiểu luồng ngược tích hợp trong hệ thống thông gió. Kết quả cho thấy hệ thống có thể đạt được mức thu hồi nhiệt từ 64,6% đến 70,0%.

Thu hồi nhiệt là một thành phần quan trọng của hệ thống khử ẩm trong không khí (Jani và cộng sự, 2016). Một số nghiên cứu đã được thực hiện để đánh giá hiệu suất khử ẩm trong không khí với việc áp dụng các công nghệ thu hồi nhiệt khác nhau. Kết quả của các nghiên cứu cho thấy thiết bị trao đổi nhiệt quay tích hợp vật liệu hút ẩm luôn là lựa chọn tốt để xử lý và kiểm soát độ ẩm tương đối của luồng không khí (O'Connor và cộng sự, 2016). Hệ thống này có thể đạt được tốc độ khử ẩm là 1,7 g/kg ~ 7 g/kg (Chen và cộng sự, 2016; Tsujiguchi và cộng sự, 2017). Bánh xe hút ẩm quay được áp dụng rộng rãi trong nhiều điều kiện khác nhau, chủ yếu là ở vùng khí hậu ẩm và nóng. Tuy nhiên, các kết quả cũng cho thấy cần có thêm các nghiên cứu tối ưu đối với bánh xe có diện tích mặt cắt ngang rộng (Zhou và cộng sự, 2018), kiểm soát luồng không khí và tốc độ quay của bánh xe (Tu và cộng sự, 2014), các giải pháp kiểm soát tổn thất áp suất (O'Connor và cộng sự, 2016). Đối với các bộ trao đổi nhiệt dạng tấm cố định, việc sử dụng thiết bị thu hồi nhiệt entanpy có thể cải thiện đáng kể khả năng chống đóng băng so với sử dụng thiết bị thu hồi nhiệt hiện (Liu và cộng sự, 2016). Vấn đề quan trọng nhất trong nghiên cứu, phát triển và ứng dụng các thiết bị ERV hiện nay ở các nước trên thế giới là việc xử lý hiệu quả lượng nhiệt ẩn (latent heat), bên cạnh yêu cầu xử lý lượng nhiệt hiện (sensible heat), của không khí tươi bên ngoài nhà và đồng thời đáp ứng được các yêu cầu về chất lượng không khí và điều kiện tiện nghi mong muốn bên trong tòa nhà. Việc xử lý riêng nhiệt ẩn của không khí tươi là một công nghệ mới xuất hiện gần đây và vẫn đang được tiếp tục nghiên cứu hoàn thiện thành một hệ thống tích hợp giúp cắt giảm hiệu quả cả lượng nhiệt ẩn và lượng nhiệt hiện.

**4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ**

Việt Nam hiện là một trong những nền kinh tế tăng trưởng nhanh nhất ASEAN và cũng là quốc gia sử dụng nhiều năng lượng. Tương tự như các quốc gia khác trên thế giới, Việt Nam phải đối mặt với sự gia tăng tiêu thụ năng lượng và phát thải khí nhà kính từ các

ngành, lĩnh vực, trong đó có ngành Xây dựng. Mức tiêu thụ năng lượng trong ngành Xây dựng, bao gồm cả lĩnh vực tòa nhà, hiện chiếm khoảng 37-40% tổng mức tiêu thụ năng lượng quốc gia. Tốc độ tăng trưởng bình quân hàng năm của ngành Xây dựng gần đây là khoảng từ 7% đến 9% và tỷ lệ đô thị hóa đạt khoảng 42,7% vào cuối năm 2023. Điều này đã dẫn đến áp lực lớn về gia tăng nhu cầu năng lượng đối với ngành Xây dựng, đặc biệt là lĩnh vực tòa nhà tại Việt Nam. Đối với lĩnh vực tòa nhà tại Việt Nam, các hệ thống HVAC hiện là đối tượng tiêu thụ năng lượng lớn nhất trong các tòa nhà, chiếm khoảng 45-60% tổng năng lượng tiêu thụ của các tòa nhà. Vì vậy, các giải pháp nâng cao hiệu quả sử dụng và tiết kiệm năng lượng trong lĩnh vực tòa nhà cần phải tập trung vào cải thiện, nâng cao hiệu suất năng lượng của các hệ thống HVAC và một trong những giải pháp đó là ứng dụng các thiết bị ERV tích hợp trong các hệ thống HVAC. Đặc biệt, việc phát triển và ứng dụng các thiết bị ERV trong điều kiện khí hậu nóng và ẩm đặc thù ở Việt Nam không chỉ cần chú ý đến việc xử lý hiệu quả lượng nhiệt ẩn và tải ẩm trong không khí mà còn phải cung cấp và duy trì điều kiện tiện nghi bên trong công trình về nhiệt độ và chất lượng không khí. Trong thời gian tới, cần có thêm các nghiên cứu thử nghiệm và đánh giá hiệu quả thực tế của việc ứng dụng các thiết bị ERV đối với một số loại hình tòa nhà (văn phòng, chung cư...) trong điều kiện khí hậu nóng và ẩm ở Việt Nam với các điều kiện khí hậu thời tiết khác nhau theo vùng miền và theo mùa.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Abd El-Baky, M.A.; Mohamed, M.M., 2007. Heat pipe heat exchanger for heat recovery in air conditioning. *Applied Thermal Engineering*, 27, 795-801.
- [2]. Abu-Khader, M.M., 2012. Plate heat exchangers: Recent advances. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 1883-1891.
- [3]. Bai H., P. Liu, M.J. Alonso, Mathisen, H.M., 2022. A review of heat recovery technologies and their frost control for residential building ventilation in cold climate regions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 162, 112417.
- [4]. Baldini, L.; Kim, M.K.; Leibundgut, H., 2014. Decentralized cooling and dehumidification with a 3 stage LowEx heat exchanger for free reheating. *Energy and Buildings*, 76, 270-277.
- [5]. Chaudhry, H.N.; Hughes, B.R.; Ghani, S.A., 2012. A review of heat pipe systems for heat recovery and renewable energy applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 2249-2259.
- [6]. Chen, C.H.; Hsu, C.Y.; Chen, C.C.; Chiang, Y.C.; Chen, S.L., 2016. Silica gel/polymer composite desiccant wheel combined with heat pump for air-conditioning systems. *Energy*, 94, 87-99.
- [7]. Coydon, F.; Herkel, S.; Kuber, T.; Pfaffertott, J.; Himmelsbach, S., 2015. Energy performance of façade integrated decentralised ventilation systems. *Energy and Buildings*, 107, 172-180.
- [8]. Diao, Y.H.; Linag, L.; Kang, Y.M.; Zhao, Y.H.; Wang, Z.Y.; Zhu, T.T., 2017. Experimental study on the heat recovery characteristic of a heat exchanger based on a flat micro-heat pipe array for the ventilation of residential buildings. *Energy and Buildings*, 152, 448-457.
- [9]. Ersöz, M.A.; Yildiz, A., 2016. Thermo-economic analysis of thermosyphon heat pipes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 666-673.
- [10]. Fernandez-Seara, J.; Diz, R.; Uria, F.J.; Dopazo, A.; Ferro, J.M., 2011. Experimental analysis of an air-to-air heat recovery unit for balanced ventilation systems in residential buildings. *Energy Conversion and Management*, 52, 635-640.
- [11]. Gan, G.; Riffat, S.B., 1997. Naturally ventilated buildings with heat recovery: CFD simulation of thermal environment. *Building Services Engineering Research & Technology*, 18, 67-75.
- [12]. Gherasim, I.; Taws, M.; Galanis, N.; Nguyen, C.T., 2011. Heat transfer and fluid flow in a plate heat exchanger part I. Experimental investigation. *The International Journal of Thermal Sciences*, 50, 1492-1498.
- [13]. Jani, D.B.; Mishra, M.; Sahoo, P.K., 2016. Solid desiccant air conditioning - A state of the art review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1451-1469.
- [14]. Khan, T.S.; Khan, M.S.; Chyu, M.C.; Ayub, Z.H., 2010. Experimental investigation of single phase convective heat transfer coefficient in a corrugated plate heat exchanger for multiple plate configurations. *Applied Thermal Engineering*, 30, 1058-1065.
- [15]. Kreith, F.; Manglik, R.M.; Bohn, M.S., 2012. *Principles of Heat Transfer*; Cengage learning: Boston, MA, USA, ISBN 1133714854.
- [16]. Liu Shuailing, Guoyuan Ma, Yaya Lv, Shuxue Xu, 2024. Review on heat pump energy recovery technologies and their integrated systems for building ventilation. *Building and Environment*, 248, 111067.
- [17]. Liu, P.; Justo Alonso, M.; Mathisen, H.M.; Simonson, C., 2016. Performance of a quasi-counter-flow air-to-air membrane energy exchanger in cold climates. *Energy and Buildings*, 119, 129-142.
- [18]. Lu, Y.; Wang, Y.; Zhu, L.; Wang, Q., 2010. Enhanced performance of heat recovery ventilator by airflow-induced film vibration (HRV performance enhanced by FIV). *The International Journal of Thermal Sciences*, 49, 2037-2041.
- [19]. Manz, H.; Huber, H., 2000. Experimental and numerical study of a duct/heat exchanger unit for building ventilation. *Energy and Buildings*, 32, 189-196.
- [20]. Mardiana-Idayu A., S.B. Riffat, 2012. Review on heat recovery technologies for building applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (2), 1241-1255.
- [21]. Maurer C., C. Cappel, T.E. Kuhn, 2017. Progress in building-integrated solar thermal systems. *Solar Energy*, 154, 158-186.
- [22]. Nasif, M.; Al-Waked, R.; Morrison, G.; Behnia, M., 2010. Membrane heat exchanger in HVAC energy recovery systems, systems energy analysis. *Energy and Buildings*, 42, 1833-1840.
- [23]. Nasr, M.R.; Fauchous, M.; Besant, R.W.; Simonson, G.J., 2014. A review of frosting in air-to-air energy exchangers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 538-554.
- [24]. O'Connor, D.; Calautit, J.K.; Hughes, B.R., 2016. A novel design of a desiccant rotary wheel for passive ventilation applications. *Applied Energy*, 179, 99-109.
- [25]. Quyết định số 385/QĐ-BXD ngày 12/05/2022 của Bộ trưởng Bộ Xây dựng phê duyệt "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".
- [26]. Quyết định số 882/QĐ-TTg ngày 22/7/2022 của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt "Kế hoạch hành động quốc gia về tăng trưởng xanh giai đoạn 2021 - 2030".
- [27]. Shao, L.; Riffat, S., 1997. Flow loss caused by heat pipes in natural ventilation stacks. *Applied Thermal Engineering*, 17, 393-399.
- [28]. Smith, K.M.; Svendsen, S., 2015. Development of a plastic rotary heat exchanger for room-based ventilation in existing apartments. *Energy and Buildings*, 107, 1-10.
- [29]. Srimuang, W.; Amatachaya, P., 2012. A review of the applications of heat pipe heat exchangers for heat recovery. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 4303-4315.
- [30]. Tian Shaochen, Xing Su, Yining Geng, 2022. Review on heat pump coupled desiccant wheel dehumidification and air conditioning systems in buildings. *Journal of Building Engineering*, 54, 104655.
- [31]. Tommerup, H.; Svendsen, S., 2006. Energy savings in Danish residential building stock. *Energy and Buildings*, 38, 618-626.
- [32]. Tsujiguchi, T.; Osaka, Y.; Kodama, A., 2017. Feasibility study of simultaneous heating and dehumidification using an adsorbent desiccant wheel with humidity swing. *Applied Thermal Engineering*, 117, 437-442.
- [33]. Vali, A.; Simonson, C.J.; Besant, R.W.; Mahmood, G., 2009. Numerical model and effectiveness correlations for a run-around heat recovery system with combined counter and cross flow exchangers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52, 5827-5840.
- [34]. Xu Qi, Saffa Riffat, Shihao Zhang, 2019. Review of Heat Recovery Technologies for Building Applications. *Energies*, 12, 1285.
- [35]. Yau, Y.H.; Ahmadzadehtalatpeh, M., 2010. A review on the application of horizontal heat pipe heat exchangers in air conditioning systems in the tropics. *Applied Thermal Engineering*, 30, 77-84.
- [36]. Zender-Swiercz, E., 2021. Review of Heat Recovery in Ventilation. *Energies*, 14, 1759.
- [37]. Zhou, X.; Goldsworthy, M.; Sproul, A., 2018. Performance investigation of an internally cooled desiccant wheel. *Applied Energy*, 224, 382-397.