

# Ứng dụng AHP để lựa chọn hệ thống điều hòa không khí trung tâm cho dự án xây dựng bệnh viện ở TP.HCM

Applying the AHP to select a central air handling unit system for a hospital construction investment project in Ho Chi Minh City

> NGUYỄN THANH PHONG<sup>1,2\*</sup>, HOÀNG HẢI<sup>3</sup>, PHẠM PHÚ CƯỜNG<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Nhóm nghiên cứu liên ngành về Quản lý dự án & Tri thức Chuyên nghiệp (K2P), Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh

<sup>2</sup>Bộ môn Quản lý xây dựng, Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh

<sup>3</sup>Khoa Đào tạo Sau Đại học, Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh

<sup>4</sup>Phân hiệu tại Thành phố Hồ Chí Minh, Trường Đại học Giao thông vận tải

\*Corresponding author Email: phong.nt@ou.edu.vn

## TÓM TẮT

Việc lựa chọn thiết bị có ý nghĩa đặc biệt quan trọng, bởi nó ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng, hiệu quả vận hành cũng như chi phí bảo trì trong các dự án xây dựng ngành y tế. Đối với dự án xây dựng bệnh viện, việc chọn hệ thống điều hòa không khí trung tâm cần được xem xét kỹ lưỡng. Vì hệ thống này đảm bảo môi trường nhiệt độ và độ ẩm ổn định, đáp ứng các yêu cầu nghiêm ngặt về vệ sinh và an toàn. Cũng như tiết kiệm năng lượng và chi phí vận hành, nhằm tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình điều trị và chăm sóc bệnh nhân. Bài báo này trình bày việc ứng dụng phương pháp định lượng AHP để so sánh, đánh giá các tiêu chí nhằm lựa chọn hệ thống điều hòa không khí trung tâm cho một dự án xây dựng bệnh viện tại TP.HCM. Kết quả nghiên cứu gợi ý các khuyến nghị giúp chủ đầu tư, đội ngũ quản lý đưa ra quyết định tối ưu khi lựa chọn hệ thống điều hòa không khí trung tâm cho dự án xây dựng bệnh viện.

**Từ khóa:** Quy trình thứ bậc phân tích (AHP); hệ thống điều hòa không khí trung tâm; dự án xây dựng bệnh viện; TP.HCM, cơ sở hạ tầng y tế.

## ABSTRACT

The selection of equipment is crucial as it directly impacts quality, operational efficiency, and maintenance costs in healthcare construction projects. For hospital construction projects, the choice of a central air handling unit (AHU) system must be carefully considered, as it ensures stable temperature and humidity conditions, meets strict hygiene and safety requirements, and optimizes energy efficiency and operational costs, ultimately facilitating patient care and treatment. This paper applies the Analytic Hierarchy Process (AHP) to quantitatively compare and evaluate criteria for selecting a central air handling unit system for a hospital construction project in Ho Chi Minh City. The research findings provide recommendations to assist investors and project management teams in making optimal decisions when selecting an AHU system for hospital construction projects.

**Keywords:** Analytic hierarchy process (AHP); central air handling unit; hospital construction project; Ho Chi Minh City; healthcare infrastructure.

## 1. GIỚI THIỆU

Môi trường điều trị và chăm sóc sức khỏe đòi hỏi các điều kiện vi khí hậu nghiêm ngặt như nhiệt độ, độ ẩm, chất lượng không khí, áp suất phòng... để đảm bảo an toàn, thoải mái cho bệnh nhân, đội ngũ y tế và khách thăm. Tại Việt Nam, các bệnh viện ở đô thị lớn như TP.HCM thường phải đối mặt với hiện tượng quá tải bệnh nhân, mật độ lưu thông cao, và điều kiện khí hậu nhiệt đới nóng ẩm quanh năm. Do đó, việc lựa chọn một hệ thống lạnh trung tâm hiệu quả, an toàn và bền vững là vô cùng quan trọng.

Hệ thống điều hòa không khí trung tâm (chiller, AHU, tháp giải nhiệt. v.v...) trong bệnh viện thường có nhiều yêu cầu khắt khe hơn so với các công trình xây dựng dân dụng thông thường. Một mặt, hệ thống phải duy trì được chất lượng không khí trong sạch, loại bỏ vi sinh vật, các chất gây nhiễm khuẩn, hạn chế lây chéo; mặt khác, hệ thống phải tiết kiệm năng lượng và dễ dàng bảo trì, vận hành. Theo [1], chi phí năng lượng cho hệ thống điều hòa không khí có thể chiếm đến 40-60% tổng năng lượng tiêu thụ của một bệnh viện. Do vậy, việc tối ưu hóa giải pháp lạnh trung tâm không chỉ mang ý

ngĩa về mặt kỹ thuật - sức khỏe, mà còn tác động đáng kể đến tài chính và môi trường.

## 2. TỔNG QUAN

Trong các dự án đầu tư xây dựng ngành y tế, hệ thống điều hòa không khí trung tâm, thường gọi là hệ thống lạnh trung tâm, không đơn thuần chỉ là máy điều hoà nhiệt độ, mà còn phải đáp ứng yêu cầu kiểm soát nhiễm khuẩn, lọc vi sinh vật, kiểm soát áp suất dương/âm cho các khu phòng mổ, phòng cách ly, nhà thuốc, khu vô trùng. Nó là một hệ thống gồm một hay nhiều máy trung tâm phối hợp thành một hệ thống tổng thể phân phối lạnh cho toàn bộ các khu vực trong tòa nhà. Hệ thống điều hòa không khí trung tâm chính là thiết bị xử lý không khí trung tâm, kết hợp lọc bụi, điều chỉnh nhiệt độ, và phân phối khí sạch với độ ổn thấp để không ảnh hưởng đến bệnh nhân. Vì vậy, việc đánh giá và lựa chọn AHU quyết định lớn đến chất lượng không khí, khả năng khử khuẩn, chi phí vận hành và khả năng mở rộng trong tương lai cho các dự án bệnh viện.

Bảng 1. Bảng tiêu chí lựa chọn hệ thống điều hòa không khí trung tâm cho các dự án ngành Y tế

Tiêu chí	Mô tả tiêu chí
Hiệu quả năng lượng	Đánh giá mức tiêu thụ năng lượng, hiệu suất hệ thống (COP, EER, SEER), thiết kế quạt AHU, khả năng hồi nhiệt. Hệ thống Inverter giúp giảm 30-50% điện năng so với công nghệ cũ. Ví dụ, AHU Daikin VRV đạt COP 5.09 nhờ công nghệ biến tần và thu hồi nhiệt. Tiêu chuẩn ASHRAE 90.1 quy định ngưỡng hiệu suất năng lượng tối thiểu cho các thiết bị điều hoà không khí. Tại Việt Nam, TCVN 7830, QCVN 09:2017/BXD cũng có yêu cầu chung về hiệu quả năng lượng cho các công trình xây dựng. Hệ thống có hiệu suất năng lượng cao giúp tiết kiệm chi phí lâu dài, mặc dù chi phí đầu tư ban đầu có thể cao hơn. Trong bối cảnh bệnh viện hoạt động 24/7, tối ưu hiệu quả năng lượng có ý nghĩa rất quan trọng
Khả năng kiểm soát vi sinh và phòng sạch	Việc kiểm soát nhiễm khuẩn và lây chéo trong bệnh viện là ưu tiên hàng đầu. Khả năng kiểm soát nhiễm khuẩn, cấp lọc HEPA, tạo áp suất dương/âm, vật liệu kháng khuẩn, tuân thủ ASHRAE 170, TCVN 5687:2010 để đảm bảo chất lượng không khí trong cơ sở y tế.
Độ bền, độ tin cậy và tính ổn định	Bệnh viện hoạt động liên tục, bất kỳ sự cố nào từ hệ thống lạnh trung tâm cũng ảnh hưởng nghiêm trọng đến sinh mạng, sức khoẻ bệnh nhân cũng như hoạt động phẫu thuật. Độ bền của quạt, motor, dàn lạnh; thiết kế module; dự phòng điều khiển, chỉ số MTBF (Mean Time Between Failures - Thời gian trung bình giữa các lần hỏng) nên cao (thiết bị càng đáng tin cậy).
Độ ồn và độ rung	Độ ồn thấp nên thấp để không ảnh hưởng đến bệnh nhân. Ví dụ: Động cơ DC không chổi than và thiết kế giảm rung có thể đạt độ ồn 56 dB, phù hợp cho phòng hồi sức. Hoặc có dòng tích hợp công nghệ Nano™ X khử mùi và ức chế vi khuẩn, giảm tải cho hệ thống lọc.
Tính linh hoạt trong vận hành	Bệnh viện có nhiều khu vực khác nhau: phòng mổ, khu cách ly, phòng ICU, khu khám bệnh, khu hành chính... Mỗi khu vực có yêu cầu thông số không khí, lịch vận hành khác nhau nên hệ thống DKKTT phải dễ dàng chia zone, cài đặt chế độ và tải phù hợp; điều khiển biến tần (VFD), dễ dàng mở rộng và thay đổi mục đích sử dụng.
Bảo trì và dịch vụ hậu mãi	Một yếu tố thực tiễn rất quan trọng là khả năng bảo trì, bảo dưỡng, thay thế phụ tùng và dịch vụ hậu mãi của nhà sản xuất/cung cấp. Tiêu chí này đặc biệt nhạy cảm với bệnh viện, vốn hoạt động liên tục, cần đảm bảo thiết bị luôn sẵn sàng và linh kiện thay thế có thể được cung cấp nhanh chóng: Mức độ phổ biến của thương hiệu, dịch vụ hậu mãi, hỗ trợ kỹ thuật 24/7, chính sách bảo hành dài hạn.
Chi phí đầu tư và vòng đời (LCC)	Tính toán LCC giúp chủ đầu tư đưa ra quyết định dựa trên chi phí tổng thể trong suốt vòng đời công trình, không chỉ dừng lại ở giá mua thiết bị ban đầu. Các khoản cần xem xét: + Chi phí đầu tư ban đầu (CAPEX): thiết bị, lắp đặt, thiết kế hệ thống. + Chi phí vận hành (OPEX): tiền điện, nước, hóa chất, nhân công vận hành. + Chi phí bảo trì, bảo dưỡng, thay thế linh kiện. + Tuổi thọ thiết bị: trung bình 15-20 năm cho AHU, 20-25 năm cho chiller. Một hệ thống AHU có giá cao nhưng hiệu suất năng lượng tốt, vật liệu bền, chi phí bảo trì thấp có thể tối ưu hơn về tổng chi phí vòng đời so với hệ thống rẻ nhưng tiêu tốn điện năng và bảo trì phức tạp
Tuân thủ tiêu chuẩn, quy chuẩn	Tuân thủ nghiêm ngặt các tiêu chuẩn, quy chuẩn liên quan đến chất lượng không khí, phòng sạch, cơ điện lạnh... gồm tiêu chuẩn quốc tế và Việt Nam như ASHRAE 170, TCVN 5687:2010, QCVN 09:2017/BXD.
Yếu tố môi trường và phát triển bền vững	Sử dụng môi chất lạnh thân thiện môi trường, tích hợp năng lượng tái tạo, giảm tiếng ồn, đạt chứng nhận LEED/GREEN MARK/LOTUS.
Công suất và khả năng mở rộng	Công suất AHU phải phù hợp với quy mô bệnh viện. Nói cách khác, diện tích của công trình sẽ quyết định loại hệ thống và công suất cần thiết. Ví dụ: Hệ thống Modular nên cho phép kết nối linh hoạt các module, dễ dàng mở rộng từ 10 HP đến 20 HP hoặc đối với công trình có diện tích rất lớn và yêu cầu cao về kiểm soát nhiệt độ, hệ thống Chiller là lựa chọn phù hợp nhất.

Bên cạnh đó, áp lực quá tải bệnh nhân tại các bệnh viện ở TP.HCM cũng khiến các khu vực chờ, sảnh, khu khám bệnh thường xuyên đông đúc, đòi hỏi hệ thống điều hòa phải có công suất lớn, có khả năng cấp gió tươi hiệu quả, đồng thời tiết kiệm năng lượng. Mặt khác, TP.HCM có khí hậu nhiệt đới gió mùa với nhiệt độ trung bình hàng năm dao động 27-32°C, độ ẩm không khí cao quanh năm (thường >70%) nên có nhu cầu làm mát lớn xuyên suốt 12 tháng trong năm cũng như chống ẩm mốc, và tiết kiệm năng lượng. Ngoài yếu tố khí hậu, TP.HCM còn nằm trong vùng nhiệt đới ẩm, khả năng ăn mòn thiết bị cao nếu không có biện pháp bảo vệ. Do đó, hệ thống lạnh trung tâm yêu cầu vật liệu bền bỉ (chống gỉ sét, chống ăn mòn), đặc biệt là đối với các bộ phận dàn ngưng tụ, dàn bay hơi, quạt gió, đường ống, v.v.

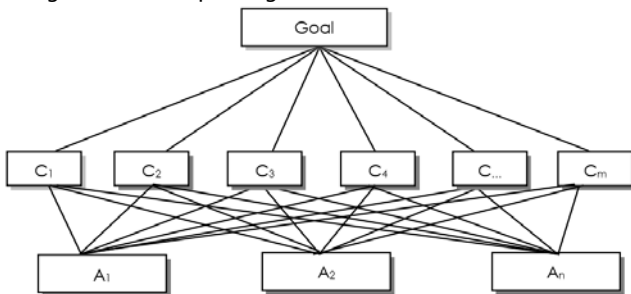
Để xác định các tiêu chí đánh giá và lựa chọn hệ thống điều hòa không khí trung tâm cho dự án xây dựng bệnh viện, các tác giả khảo lược một số các tài liệu nghiên cứu trong và ngoài nước trước đây [2-9], kết hợp phỏng vấn sâu với các chuyên gia giàu kinh nghiệm. Sau đây là bảng tổng hợp 9 tiêu chí chính để lựa chọn hệ thống điều hòa không khí trung tâm cho các dự án bệnh viện [19-20]:

**3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU**

Quá trình thứ bậc phân tích AHP (Analytic Hierachy Process) được đề xuất bởi nhà toán học Thomas L. Saaty trong những năm 1980. AHP là một phương pháp định lượng được phát triển để hỗ trợ ra quyết định dựa trên nhiều tiêu chí khác nhau. Nó cho phép xem xét và kết hợp cả các yếu tố định tính lẫn định lượng trong quá trình đánh giá và lựa chọn. AHP đã trở thành phương pháp phân tích định lượng đa chỉ tiêu được sử dụng phổ biến nhất vì nó khá đơn giản, có tính khách quan khá cao và phù hợp với tư duy của con người. AHP thường được ứng dụng để sắp xếp các phương án quyết định và chọn một phương án tốt nhất thỏa mãn các tiêu chí cho trước. Nó giúp đưa ra quyết định một cách khoa học và khách quan, dựa trên việc đánh giá toàn diện các yếu tố ảnh hưởng. Dựa trên nguyên tắc so sánh cặp, phương pháp AHP có thể được mô tả với 3 nguyên tắc chính, đó là phân tích, đánh giá và tổng hợp để ra quyết định [10-14].

Mục tiêu (Goal) của bài toán là lựa chọn hệ thống điều hòa không khí trung tâm cho dự án xây dựng bệnh viện, phải dựa trên nhiều tiêu chí (Tiêu chí C<sub>1</sub>, Tiêu chí C<sub>2</sub>, ..., Tiêu chí C<sub>m</sub>) trong bảng 1.

Các phương án có thể đưa vào so sánh là phương án (A<sub>1</sub>), phương án (A<sub>2</sub>),..., và phương án (A<sub>n</sub>).



Hình 1. Sơ đồ thứ bậc của bài toán AHP

\* Phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) được tính toán theo các bước như sau [15-18]:

+ Bước 1: Chọn các tiêu chí đánh giá trên cơ sở ý kiến của các chuyên gia từ bảng 1.

+ Bước 2: Xác định mức độ ưu tiên (còn gọi là mức độ quan trọng hay trọng số) của các tiêu chí bằng phương pháp so sánh từng cặp theo thang đo 1-9 của GS. Thomas L. Saaty trình bày trong bảng 2.

+ Bước 3: Sau khi tính toán trọng số cho các tiêu chí, bước tiếp theo là đánh giá các phương án theo từng tiêu chí và tính toán và kiểm tra độ nhất quán của các đánh giá thông qua chỉ số nhất quán (CI) và tỷ số nhất quán (CR).

Bảng 4. Thông tin tóm tắt của 4 hệ thống điều hòa không khí trung tâm

HTDHKKT R	HTDHKKT M	HTDHKKT D	HTDHKKT P
Giá thành tương đối thấp. Tuổi thọ 15-20 năm nếu bảo trì đúng chuẩn Modular Chiller cho phép ghép nối các máy theo nhu cầu. Hiệu suất thấp hơn (COP 3.5-4.0) so với các hệ thống khác. Thiếu công nghệ kháng khuẩn tiên tiến. Độ bền ổn, phù hợp điều kiện khí hậu Việt Nam. Linh kiện phổ biến, thay thế trong nước khá dễ dàng.	Giá thành cao. Có chứng nhận Euro Vent A+ đảm bảo chất lượng không khí theo tiêu chuẩn châu Âu. Hiệu suất tổng thể khá cao, có thể đạt EER ≥ 12 (phụ thuộc model). Cấu tạo cánh quạt, vách ngăn, khay nước ngưng bằng inox hoặc vật liệu cao cấp, hạn chế vi khuẩn. Dải công suất 25-150 kW, phù hợp cho bệnh viện đa năng. Chi phí bảo trì cao do phụ thuộc vào linh kiện nhập khẩu. Đáp ứng đầy đủ tiêu chuẩn quốc tế và có các chứng chỉ về tiết kiệm năng lượng, giảm tiếng ồn, rung động, bảo vệ môi trường.	Giá trung-cao, với vòng đời 15-20 năm, Có công nghệ VRV/VRF nên điều chỉnh lưu lượng môi chất lạnh biến thiên, tiết kiệm 40% điện năng. MTBF cao, có khả năng vận hành liên tục 24/7 Bộ lọc 3 lớp: Kết hợp lọc thô, lọc túi và tia UV diệt khuẩn . Đạt hầu hết tiêu chuẩn quốc tế (ASHRAE, ISO) và Việt Nam. Tối ưu hóa vận hành, giảm phát thải CO <sub>2</sub> .	Giá cạnh tranh với vòng đời khoảng 15 năm. Có công nghệ lọc Nanoe™. Hiệu suất làm lạnh vượt trội trong điều kiện nhiệt độ cao. Tích hợp IoT: Điều khiển qua điện thoại và giám sát từ xa. Công suất tối đa chỉ 48 HP. Chính sách bảo hành tốt, thân thiện. Tiếng ồn, độ rung thấp, hướng đến trải nghiệm người dùng tốt. Đạt các tiêu chuẩn quốc tế cơ bản, có chứng chỉ ISO, JIS.

Nếu tỷ số nhất quán CR nhỏ hơn hoặc bằng 0,1 thì sự đánh giá tương đối nhất quán, ngược lại, sự đánh giá chưa chính xác, cần đánh giá lại ở cấp tương ứng. Tỷ số CR được xác định như sau:

Chỉ số nhất quán được tính theo công thức sau đây:

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad (1)$$

Trong đó λ<sub>max</sub> là hệ số giá trị riêng = Trị trung bình của vec-tơ nhất quán.

Công thức tính tỷ số không nhất quán:

$$CR = CI/RI. \quad (2)$$

Trong đó, RI (chỉ số ngẫu nhiên) là một hàm số của bậc ma trận (n), được cho trong Bảng 3.

Bảng 2. Bảng Thang đo đánh giá so sánh từng cặp 1-9

MỨC ĐỘ	SO SÁNH
1	Quan trọng như nhau
2	Giữa mức độ 1 và 3
3	Tương đối quan trọng hơn
4	Giữa mức độ 3 và 5
5	Quan trọng hơn
6	Giữa mức độ 5 và 7
7	Rất quan trọng hơn
8	Giữa mức độ 7 và 9
9	Vô cùng quan trọng hơn

Bảng 3. Bảng chỉ số ngẫu nhiên ứng với số tiêu chí lựa chọn (n) được xem xét

n	1	2	3	4	5
RI	0,00	0,00	0,58	0,9	1,12
n	6	7	8	9	10
RI	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49
n	11	12	13	14	15
RI	1,51	1,54	1,56	1,57	1,59

Bước 4: Tính điểm số tổng thể cho từng phương án hệ thống điều hòa không khí trung tâm bằng cách nhân điểm số của mỗi phương án trong từng tiêu chí với trọng số của tiêu chí tương ứng và xếp hạng các phương án. Từ đó đưa ra sự lựa chọn phương án thích hợp (phương án tốt nhất là phương án có điểm cao nhất).

**4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU**

Bảng 4 sau đây trình bày tóm tắt thông tin của 4 hệ thống điều hòa không khí trung tâm cho một dự án xây dựng bệnh viện X ở tại TP.HCM

Để đơn giản minh họa tính toán phương pháp AHP, chúng ta xét 1 ma trận so sánh từng cặp theo tiêu chí Độ bền, độ tin cậy và tính ổn định cho 4 phương án hệ thống điều hòa không khí trung tâm như sau:

Bảng 5. So sánh từng cặp các phương án hệ thống điều hòa không khí trung tâm theo tiêu chuẩn Độ bền, độ tin cậy và tính ổn định

Độ bền, độ tin cậy và tính ổn định	HTDHKKT R	HTDHKKT M	HTDHKKT D	HTDHKKT P	Véc tơ độ ưu tiên
HTDHKKT R	1	1/2	3	1/6	0,1259
HTDHKKT M	2	1	4	1/4	0,2083
HTDHKKT D	1/3	1/4	1	1/5	0,6670
HTDHKKT P	6	4	5	1	0,5991

Dựa vào các công thức của phương pháp AHP, chúng ta tính được:

Hệ số giá trị riêng:  $\lambda_{\max} = 4.208$ ;

Chỉ số nhất quán:  $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) = (4,208-4)/(4-1) = 0.0069$ ;

Chỉ số ngẫu nhiên:  $RI = 0,9$  ứng với tra bảng  $n = 4$ ;

Tỷ số không nhất quán:  $CR = CI/RI = 0,0069/0,9 = 7,7\% < 10\%$  (chấp nhận được, nghĩa là ý kiến đánh giá của các chuyên gia là nhất quán).

Tương tự như vậy, dựa trên ý kiến đánh giá của chuyên gia, thiết lập các ma trận so sánh từng cặp của 4 phương án hệ thống điều hòa không khí trung tâm cho dự án bệnh viện cho từng tiêu chí lựa chọn khác; cũng như đánh giá trọng số, còn gọi là tầm quan trọng, của từng tiêu chí đánh giá.

Sau đó, chúng ta tổng hợp các kết quả và tính điểm cho từng phương án hệ thống điều hòa không khí trung tâm và xếp hạng các phương án. Kết quả cho thấy hệ thống điều hòa không khí trung tâm P xếp hạng thứ nhất; còn vị trí xếp hạng thứ hai, thứ ba và thứ tư lần lượt là hệ thống điều hòa không khí trung tâm R; hệ thống điều hòa không khí trung tâm M, và hệ thống điều hòa không khí trung tâm D. Do vậy chủ đầu tư nên lựa chọn mua và lắp đặt hệ thống điều hòa không khí trung tâm P cho dự án xây dựng bệnh viện X nêu trên.

## 5. KẾT LUẬN

Bài báo nhận dạng một số tiêu chí quan trọng trong quá trình đánh giá và lựa chọn hệ thống điều hòa không khí trung tâm như sau: hiệu quả năng lượng; khả năng kiểm soát vi sinh và phòng sạch; độ bền, độ tin cậy và tính ổn định; độ ồn và độ rung; tính linh hoạt trong vận hành; bảo trì và dịch vụ hậu mãi; chi phí đầu tư và vòng đời; tuân thủ tiêu chuẩn, quy chuẩn; yếu tố môi trường và phát triển bền vững; và công suất và khả năng mở rộng. Bài báo đề xuất phương pháp thứ bậc phân tích AHP để đánh giá và lựa chọn hệ thống điều hòa không khí trung tâm tối ưu cho một dự án xây dựng bệnh viện tại TP.HCM. Phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) cung cấp một cách tiếp cận khoa học và có hệ thống trong việc lựa chọn hệ thống điều hòa không khí trung tâm. Quy trình này giúp đưa ra quyết định dựa trên nhiều tiêu chí khác nhau, cả định lượng và định tính, đảm bảo lựa chọn được hệ thống phù hợp nhất cho công trình. Việc lựa chọn hệ thống điều hòa không khí trung tâm không chỉ ảnh hưởng đến môi trường điều trị và chăm sóc sức khỏe, mà còn tác động đến chi phí vận hành và tính bền vững của bệnh viện. Bài báo là tài liệu hỗ trợ ra quyết định giúp các nhà quản lý dự án có cơ sở khoa học và khách quan hơn trong việc lựa chọn giải pháp kỹ thuật phù hợp cũng như làm tiền đề cho các nghiên cứu tiếp theo về tối ưu hóa hệ thống cơ điện trong dự án ngành y tế, nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng và đảm bảo chất lượng dịch vụ y tế.

**Lời cảm ơn:** Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh đã hỗ trợ một phần nội dung nghiên cứu bài báo khoa học này.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. V. C. Công, H. H. Lê, And Q. D. N. Trần, "Áp dụng hệ thống quản lý năng lượng theo tiêu chuẩn TCVN ISO 50001:2019 nhằm sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả tại các công trình bệnh viện," Tạp chí Vật liệu và Xây dựng - Bộ Xây dựng, 2024.
- [2]. T. T. H. Đặng et al., "Tổng quan can thiệp kiểm soát nhiễm khuẩn áp dụng chiến lược tiếp cận đa phương thức của Tổ chức Y tế Thế giới," Tạp chí Y học Dự phòng, 2023.
- [3]. Q. C. Hoàng, N. P. Q. Huỳnh, V. N. Nguyễn, T. L. Nguyễn, and V. C., "Đánh giá việc thực hiện bộ tiêu chí chất lượng bệnh viện tại các cơ sở khám, chữa bệnh ở thành phố Cần Thơ năm 2023," Tạp chí Y học Dự phòng, 2024.
- [4]. H. H. Lê, Q. D. N. Trần, C. N. Q. K. N. Phan, And Đ. T. I. Trương, "Bộ tiêu chí đánh giá thực trạng công trình trường học phục vụ cải tạo nhằm cải thiện hiệu quả sử dụng năng lượng và tiện nghi môi trường trường học," Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCHXD) - ĐHXDH, 2021-2021.
- [5]. H. T. Nguyễn, et al. "Giải pháp cải tạo và vận hành công trình y tế nhằm sử dụng năng lượng hiệu quả: Nghiên cứu điển hình tại một bệnh viện ở Hà Nội." Tạp chí Khoa học công nghệ xây dựng (TCKHCHXD) - ĐHXDH, 2024.
- [6]. T. T. T. Nguyễn et al., "Thực trạng quản lý và sử dụng thiết bị bảo quản lạnh tại các phòng thí nghiệm của Viện Vệ sinh dịch tễ Trung ương, 2017 - 2018," Tạp chí Y học Dự phòng, 2024.
- [7]. V. T. I. Phạm, Q. D. Nguyễn, H. H. Lê, N. C. H. N. Chu, And N. T. N. Hoàng, "Khảo sát một số bệnh viện ở Hà Nội và đề xuất các giải pháp tiết kiệm năng lượng hiệu quả," Tạp chí Vật liệu và Xây dựng - Bộ Xây dựng, 2024.
- [8]. T. N. Văn, H. T. Văn, M. H. N. Thi, P. N. Minh, and H. N. Văn, "Nghiên cứu nâng cao hiệu quả làm việc cho cụm dàn nóng của hệ thống điều hòa không khí VRF," Journal of Technical Education Science, 2022.
- [9]. Đ. Đ. Nguyễn, "Nghiên cứu sử dụng bơm nhiệt trong hệ thống cấp nhiệt và điều hòa không khí," Journal of Science and Technology in Civil Engineering (STCE) - NUCE, 2018.
- [10]. S. Moslem, M. K. Saraji, A. Mardani, A. Alkharabsheh, S. Duleba, and D. Esztergár-Kiss, "A Systematic Review of Analytic Hierarchy Process Applications to Solve Transportation Problems: From 2003 to 2019," IEEE Access, 2023.
- [11]. Z. D. Kenger, Ö. N. Kenger, and E. Özceylan, "Analytic hierarchy process for urban transportation: a bibliometric and social network analysis," Central European Journal of Operations Research, pp. 1-20, 2023.
- [12]. A. Ishizaka and E. Mu, "What is so special about the analytic hierarchy and network process?," Annals of Operations Research, pp. 1-10, 2023.
- [13]. M. Tavana, M. Soltanifar, and F. J. Santos-Arteaga, "Analytical hierarchy process: revolution and evolution," Annals of Operations Research, pp. 1-29, 2021.
- [14]. M. A. Marthouqi and A. El Manouar, "An AHP Model towards an Agile Enterprise," International Journal of Advanced Computer Science and Applications, vol. 8, no. 11, pp. 151-156, Nov 2017.
- [15]. C. A. R. Algarin, A. P. Llanos, and A. O. Castro, "An Analytic Hierarchy Process Based Approach for Evaluating Renewable Energy Sources," International Journal of Energy Economics and Policy, vol. 7, no. 4, pp. 38-47, 2017.
- [16]. N. S. M. Zaini, N. E. A. Basri, S. M. Zain, and N. F. M. Saad, "Selecting the best composting technology using analytical hierarchy process (AHP)," Jurnal Teknologi, vol. 77, no. 1, pp. 1-8, 2015.
- [17]. K. M. A.-S. Al-Harbi, "Application of the AHP in project management," Int. J. Proj. Manag., vol. 19, no. 1, pp. 19-27, 2001
- [18]. T. L. Saaty and L. G. Vargas, "Uncertainty and rank order in the analytic hierarchy process," European Journal of Operational Research, vol. 32, no. 1, pp. 107-117, 10, 1987.
- [19]. R. A. N. L., and Y. Asmara, "Study of the VRF/VRV Air Conditioning System in the Hospital: A Review of Economic and Environmental Aspects," Jurnal Teknik Mesin, 2022.
- [20]. M. Triyank, S. Ravneet, G. Vikas, C. Joydeep, and Sorabh, "Air-Conditioning System in Surgical and Critical Care: A Review," Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2021.