

Xây dựng khung đánh giá tiên tiến cho vật liệu xanh tại cảng hàng không Việt Nam

Integrated design framework for optimizing Vietnam's passenger terminals: Balancing national and international standards

> THS BÙI NAM PHƯƠNG, NGUYỄN DUY TÂN*, NGUYỄN NGỌC TÂM NHƯ

Khoa Xây dựng, Học viện Hàng không Việt Nam

*Email: tann_d@vaa.edu.vn

TÓM TẮT

Trong bối cảnh ngành hàng không (HK) Việt Nam tăng trưởng nhanh chóng, cùng với cam kết Net Zero 2050, việc xây dựng một khung tiêu chí đánh giá về vật liệu xanh (VLX) chuyên biệt cho hạ tầng cảng hàng không, sân bay (CHK, SB) trở nên cấp thiết. Đầu tiên, nghiên cứu tổng hợp và phân tích các hệ thống chứng nhận quốc tế (LEED, BREEAM, Green Mark), tiêu chuẩn trong nước (LOTUS, tiêu chuẩn Việt Nam), quy chuẩn kỹ thuật quốc gia (QCVN) và các yêu cầu chuyên ngành về hàng không, từ đó một bộ tiêu chí ứng viên được thiết lập. Tiếp theo, khung đánh giá VLX tiên tiến (Advanced Green Material Assessment Framework - AGMAF) được cấu trúc theo ba trụ cột bền vững (kinh tế, môi trường, xã hội) với 10 nhóm tiêu chí, trong đó an toàn phòng cháy, chữa cháy (PCCC) được coi là điều kiện tiên quyết. Cuối cùng, trọng số các trụ cột được xác định bằng phương pháp phân tích thứ bậc AHP (Analytic Hierarchy Process), trên cơ sở khảo sát đa bên liên quan (cơ quan quản lý, chủ đầu tư, nhà thầu, tư vấn), cho thấy mức độ ưu tiên và mức đồng thuận rất cao về tính cần thiết của VLX. Kết quả nghiên cứu cung cấp công cụ đánh giá khoa học, sẵn sàng tích hợp vào quy trình thẩm định và đấu thầu các dự án CHK, SB tại Việt Nam.

Từ khóa: Vật liệu xanh; cảng hàng không, sân bay; khung đánh giá tiên tiến - AGMAF, phân tích thứ bậc - AHP; phát triển bền vững.

ABSTRACT

In the context of the rapid growth of Vietnam's aviation industry coupled with the Net Zero 2050 commitment, developing a specialized green material assessment criteria framework for airport infrastructure has become imperative. First, by synthesizing and analyzing international certification systems (LEED, BREEAM, Green Mark), domestic standards (LOTUS, Vietnam Standards - TCVN), national technical regulations, and specialized aviation requirements, a set of candidate criteria was established. Next, the AGMAF is structured according to the three sustainability pillars (Economic, environmental, social) with 10 groups of criteria, in which safety and fire protection are considered prerequisites. Finally, the weights of the pillars were determined using the Analytic Hierarchy Process (AHP) based on a multi-stakeholder survey (management agencies, investors, contractors, consultants), resulting in priority levels and a very high degree of consensus on the necessity of green materials. The study provides a scientific assessment tool, ready to be integrated into the appraisal and bidding processes for airport projects in Vietnam.

Keywords: Green materials; airport advanced green material assessment framework - AGMAF; Analytic hierarchy process (AHP); sustainable development.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu toàn cầu, việc theo đuổi 17 mục tiêu phát triển bền vững (PTBV) của Liên Hợp Quốc đã trở thành kim chỉ nam cho mọi ngành kinh tế, trong đó HK là lĩnh vực chịu áp lực lớn về giảm phát thải [1]. Tại Hội nghị COP26, Việt Nam đã đưa ra cam kết mạnh mẽ đạt mức phát thải ròng bằng không, cam kết Net Zero carbon đến năm 2050 [2]. Để hiện thực hóa mục tiêu này, việc xanh hóa cơ sở hạ tầng, đặc biệt là hệ thống CHK, SB đóng vai trò then chốt. Theo quy hoạch mạng lưới CHK, SB thời kỳ từ 2021 đến 2030, Việt Nam sẽ khai thác 30 CHK và tầm nhìn đến

năm 2050 sẽ nâng lên 33 cảng hàng không [3]. Vì vậy việc xây dựng và nâng cấp hệ thống hạ tầng HK hướng đến PTBV không chỉ là xu thế quốc tế mà còn là yêu cầu cấp bách để tối ưu hóa hiệu quả vận hành và giảm thiểu dấu chân carbon.

Bên cạnh đó, ngành Xây dựng hiện nay đang đứng trước áp lực chuyển dịch xanh vô cùng lớn khi tiêu thụ khoảng 40% nguồn năng lượng, chiếm 50% lượng phát thải và tạo ra tới 33% lượng khí thải carbon trên toàn cầu [4]. Đặc biệt, các công trình hạ tầng quy mô lớn như CHK, SB đang đối mặt với bài toán môi trường nghiêm trọng: việc sản xuất xi măng, thành phần cốt yếu trong đường băng và nhà

ga, là ngành có tỷ trọng phát thải khí nhà kính lớn nhất, chiếm gần 80% tổng phát thải trong sản xuất vật liệu xây dựng [5].

Trước thực trạng đó, nghiên cứu này xác định việc ứng dụng VLX là xu hướng tất yếu của thời đại. VLX được hiểu là những loại vật liệu sử dụng các nguồn tài nguyên thiên nhiên theo hướng tiếp cận có trách nhiệm với môi trường [6]. Các loại vật liệu này không chỉ đảm bảo không độc hại, có khả năng tái chế cao, mà còn giúp tiết kiệm tài nguyên và năng lượng trong suốt vòng đời từ khâu sản xuất đến khi thu hồi. Nghiên cứu này cũng góp phần giải quyết mâu thuẫn giữa nhu cầu mở rộng hạ tầng và trách nhiệm bảo vệ môi trường, hướng tới một tương lai phát thải thấp bền vững.

Dù các hệ thống chứng nhận như LEED (Mỹ) hay BREEAM (Anh) đã xác lập những tiêu chuẩn khắt khe về môi trường, việc áp dụng chúng tại Việt Nam vẫn đối mặt với rào cản về chi phí đầu tư ban đầu và sự thiếu hụt kinh nghiệm của nhà thầu. Đáng chú ý, với sự tương đồng về điều kiện khí tượng, hệ thống Green Mark từ Singapore được đánh giá là hướng tiếp cận khả thi và dễ thích ứng hơn cho thị trường nội địa. Để thúc đẩy lộ trình này, Chính phủ Việt Nam đã ban hành hệ thống văn bản pháp lý chặt chẽ như Nghị định 06/2022/NĐ-CP về giảm phát thải khí nhà kính và Quyết định 1266/QĐ-TTg phê duyệt Chiến lược phát triển vật liệu xây dựng đến năm 2050 [7], [8].

Tuy nhiên, một khoảng trống nghiên cứu lớn đang tồn tại, hiện vẫn thiếu một khung đánh giá VLX chuyên biệt cho hạ tầng CHK, SB phù hợp với các yếu tố đặc thù về khí hậu, kinh tế và pháp lý tại Việt Nam. Đứng trước thực trạng đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm ba mục tiêu cốt lõi: (i) Xây dựng Khung đánh giá VLX tiên tiến có khả năng định lượng và phù hợp với điều kiện Việt Nam; (ii) Lượng hóa mức độ ưu tiên các tiêu chí lựa chọn VLX của các trụ cột kinh tế - môi trường - xã hội trong lĩnh vực HK; và (iii) Nhận diện các rào cản thực tế để đề xuất giải pháp ứng dụng VLX hiệu quả. Việc giải quyết những mục tiêu này nhằm tạo cơ sở để tối ưu hóa vòng đời công trình, góp phần đưa ngành HK Việt Nam tiệm cận với các chuẩn mực bền vững toàn cầu.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Một công trình xây dựng không thể đạt được kết quả tốt nhất ở tất cả các khía cạnh bền vững, mà phải là sự cân bằng giữa các tiêu chí kinh tế - môi trường và xã hội [12]. Trên cơ sở đó, mục tiêu cốt lõi của VLX trong nghiên cứu này được xác định là đạt được sự tối đa hóa giữa ba trụ cột kinh tế - môi trường - xã hội. Nghiên cứu được tiến hành theo phương pháp tổng hợp và phân tích những chính sách và quy chuẩn chủ yếu hiện hành để đề xuất nhóm tiêu chí ứng viên phù hợp với 3 trụ cột chính và 10 nhóm tiêu chí bao gồm: (i) Nhóm kinh tế: Hiệu suất và độ bền, Năng lượng tiêu thụ, Chi phí vòng đời; (ii) Nhóm môi trường: Nguồn gốc và thành phần vật liệu, tác động vòng đời, quản lý và giảm thiểu tác động; và (iii) Nhóm xã hội: Chất lượng môi trường trong nhà, khả năng tiếp cận và chuỗi cung ứng, tác động đến cộng đồng, sáng kiến và hiệu suất.

Bên cạnh đó, để tăng tính thực tiễn trong kết quả, nghiên cứu sử dụng phương pháp khảo sát chuyên gia trong lĩnh vực bằng bảng câu hỏi, đây được xem là một kỹ thuật định lượng phổ biến để đánh giá nhận thức xây dựng công trình xanh. Đối tượng tham gia khảo sát nghiên cứu bao gồm các chuyên gia đa bên liên quan như kỹ sư, kiến trúc sư, chuyên gia tư vấn và quản lý khai thác CHK, SB... Cấu trúc bảng hỏi gồm ba phần: (i) Thông tin chung (thu thập dữ liệu nhân khẩu học và kinh nghiệm chuyên môn), (ii) Đánh giá nhận thức (khảo sát hiểu biết về VLX trong hạ tầng HK); và (iii) Đánh giá tầm quan trọng (sử dụng thang đo Likert 5 mức độ từ 1 là rất không quan trọng đến 5 là rất quan trọng để xác định mức độ ưu tiên của các tiêu chí trong khung AGMAF).

Kết quả khung tiêu chí đánh giá AGMAF được tổng hợp dựa trên các tiêu chuẩn và quy chuẩn cùng với hệ thống chứng nhận VLX hiện hành. Để xác định trọng số ưu tiên một cách khách quan, nghiên cứu áp dụng phương pháp AHP của Thomas L. Saaty [9]. AHP cho phép cấu trúc hóa các thông tin phức tạp thành mô hình phân cấp, kết hợp giữa các yếu tố định tính là kinh nghiệm của chuyên gia và định lượng là số liệu thống kê. Thông qua việc thực hiện so sánh cặp, phương pháp này giúp triệt tiêu các yếu tố cảm tính và xác định chính xác các trọng số của từng tiêu chí trong việc tối ưu hóa lựa chọn vật liệu cho các CHK, SB tại Việt Nam.

3. KẾT QUẢ

3.1. Thiết lập tiêu chí ứng viên cho VLX

Qua quá trình rà soát hệ thống chứng nhận quốc tế và quy định hiện hành, nghiên cứu đã xác lập một ma trận đối chiếu nhằm nhận diện các yêu cầu cốt lõi đối với VLX với phạm vi từ quốc tế đến trong nước bao gồm:

(i) Hệ thống chứng nhận quốc tế: Cung cấp nền tảng lý thuyết và các chỉ số định lượng khắt khe về tính bền vững của vật liệu.

+ LEED (Mỹ) và BREEAM (Anh): Xác lập những yêu cầu trọng yếu đối với việc minh bạch hóa nguồn gốc cùng thành phần cấu tạo của vật liệu thông qua công bố sản phẩm môi trường (EPD). Đáng chú ý, các nhóm tiêu chí về vật liệu và nguồn lực trong hai hệ thống này có xu hướng chuyển dịch sang đánh giá tác động vòng đời (LCA), tạo cơ sở khoa học để kiểm soát và tiết giảm các hệ lụy môi trường từ quá trình khai thác tài nguyên [10], [11].

+ Green Mark (Singapore): Do có sự tương đồng chặt chẽ về điều kiện khí tượng nhiệt đới ẩm. Hệ thống này được xem như là khung tham chiếu phù hợp với việc ưu tiên các vật liệu có hiệu suất nhiệt cao, giúp giảm thiểu bức xạ và tối ưu hóa hệ thống làm mát, vốn là yêu cầu cốt lõi tại thị trường nội địa.

(ii) Hệ thống chứng nhận, tiêu chuẩn và quy chuẩn trong nước: Kiểm soát đảm bảo tính pháp lý và sự phù hợp với chuỗi cung ứng tại Việt Nam.

+ QCVN và TCVN: Các quy chuẩn như QCVN 09:2017/BXD và các tiêu chuẩn kỹ thuật quốc gia xác lập các tiêu chí về an toàn và hiệu suất, đặc biệt là khả năng chống cháy, chịu lực. Đồng thời, đây cũng là căn cứ để định hình các yêu cầu về hiệu suất và độ bền của vật liệu trong môi trường khắc nghiệt tại Việt Nam.

+ LOTUS: Đóng vai trò bản địa hóa các tiêu chuẩn xanh tại Việt Nam giúp xác lập tiêu chí về ưu tiên vật liệu địa phương và vật liệu không nung từ đó tăng khả năng tiếp cận và chuỗi cung ứng. Bên cạnh đó, các yêu cầu về kiểm soát VOC và tiện nghi nhiệt trong LOTUS nhằm nâng cao chất lượng môi trường trong nhà.

(iii) Yêu cầu đặc thù ngành HK: Với cường độ khai thác cực cao và yêu cầu an ninh nghiêm ngặt, CHK, SB cần quan tâm đến các tiêu chí đặc thù liên quan:

+ Chi phí vòng đời (LCC): Với quy mô đầu tư lớn, vật liệu trong CHK, SB phải được đánh giá dựa trên hiệu quả kinh tế dài hạn thay vì chi phí đầu tư ban đầu.

+ Tác động đến cộng đồng: Theo các hướng dẫn của ICAO và IATA, vật liệu trong nhà ga cần thể hiện tính biểu tượng, bản sắc văn hóa và đảm bảo tính hòa nhập, dễ tiếp cận cho mọi đối tượng hành khách [12].

+ An toàn và hiệu suất vận hành: Yêu cầu về độ bền mài mòn, khả năng bảo trì nhanh chóng và các tiêu chuẩn an toàn cháy nổ đặc biệt (dành cho nơi tập trung đông người) là rào cản kỹ thuật bắt buộc để một loại vật liệu được sử dụng cho công trình CHK, SB [13].

Trên cơ sở tổng hợp đa chiều trên, nghiên cứu đã thiết lập một bộ tiêu chí ứng viên làm khung tham chiếu để lựa chọn VLX tối ưu cho các dự án với quy mô công trình hạ tầng lớn như CHK, SB. Hệ tiêu chí này được cấu trúc theo 3 nhóm trọng tâm về kinh tế - xã hội và môi trường bao gồm 10 tiêu chí ứng viên gồm: (i) Hiệu suất và độ bền; (ii) Năng lượng tiêu thụ; (iii) Chi phí vòng đời - LCC; (iv) Nguồn gốc và thành phần; (v) Tác động đến vòng đời - LCA; (vi) Quản lý và giảm thiểu tác động; (vii) Chất lượng môi trường trong nhà; (viii) Khả năng tiếp cận và chuỗi cung ứng; (ix) Tác động đến cộng đồng; và (x) An toàn và hiệu quả.

3.2. Thiết lập khung đánh giá tiên tiến cho VLX

3.2.1. Nhóm tiêu chí kinh tế

Nhóm tiêu chí kinh tế được xem là ưu tiên cao nhất trong ba trụ cột kinh tế - môi trường và xã hội như một lựa chọn chiến lược và thực tiễn tại Việt Nam. Bằng cách tập trung vào các thông số có tác động trực tiếp như hệ số hấp thụ nhiệt và độ phản xạ bức xạ mặt trời (SRI). Hệ thống đánh giá này không chỉ đảm bảo độ bền kết cấu trong điều kiện vận hành khắc nghiệt (50-100 năm) mà còn trực tiếp tối ưu hóa lợi ích tài chính thông qua việc cắt giảm chi phí năng lượng vận hành hàng năm. Cách tiếp cận này giúp chủ đầu tư có cái nhìn tổng quát, đảm bảo sự cân bằng giữa mục tiêu bảo vệ môi trường và tính bền vững tài chính dài hạn cho công trình.

Bảng 1. Khung tiêu đánh giá tiên tiến cho nhóm tiêu chí kinh tế (Nguồn: Nhóm tác giả)

Nội dung		Ưu tiên	Trọng số
Hiệu suất và độ bền	Cường độ chịu lực	3	25,5
	Độ bền mối	4	24,8
	Khả năng chống thấm và chống ăn mòn	2	26,05
	Tuổi thọ thiết kế và duy trì chức năng	1	27,55
Năng lượng tiêu thụ	Khả năng cách nhiệt	1	24,75
	Độ phản xạ bức xạ mặt trời (SRI)	2	25,15
	Hệ số hấp thụ nhiệt mặt trời	1	25,70
Chi phí vòng đời	Giảm chi phí vòng đời (LCC)	2	23,70
	Chi phí đầu tư và đánh giá vật liệu	1	23,95

3.2.2. Nhóm tiêu chí môi trường

Nhóm tiêu chí về môi trường được xem là chiến lược của ngành HK Việt Nam hướng tới mục tiêu NetZero thông qua việc kiểm soát nghiêm ngặt vòng đời vật liệu (LCA). Hệ thống ưu tiên tối đa cho các vật liệu tái sử dụng, có thành phần tái chế và hàm lượng các-bon tích hợp thấp. Việc kết hợp quản lý chất thải công trình và ưu tiên nguồn cung địa phương không chỉ tối ưu hóa chuỗi cung ứng, giảm chi phí vận chuyển mà còn đóng vai trò là công cụ kiểm chứng khách quan cho tính bền vững, đảm bảo sự hài hòa giữa trách nhiệm sinh thái và hiệu quả đầu tư dài hạn.

Bảng 2. Khung tiêu đánh giá tiên tiến cho nhóm tiêu chí môi trường (Nguồn: Nhóm tác giả)

Nội dung		Ưu tiên	Trọng số
Nguồn gốc và thành phần vật liệu	Vật liệu tái sử dụng	1	23,80
	Vật liệu có thành phần tái chế	3	22,85
	Vật liệu tái tạo nhanh, không nung	4	21,05
	Vật liệu có nguồn gốc địa phương	2	23,05
Tác	carbon tích hợp	2	23,25
	Vật liệu có EPDs	2	23,20

động vòng đời	Vật liệu có chứng nhận xanh	1	23,85
Quản lý và giảm thiểu tác động	Quản lý chất thải từ sản xuất vật liệu	2	24,85
	Quản lý chất thải từ xây dựng	1	25,85
	Giảm mức sử dụng bê tông	3	24,15

3.2.3. Nhóm tiêu chí xã hội

Với vai trò vừa mang tính nhân văn vừa mang tính thiết yếu, nhóm tiêu chí này góp phần khẳng định vị thế của các CHK, SB không chỉ là công trình kỹ thuật mà còn là không gian văn hóa xã hội. Hệ thống ưu tiên hàng đầu cho các chỉ số về chất lượng môi trường trong nhà thông qua việc kiểm soát hàm lượng hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (VOC) và hiệu suất vật liệu vượt trội. Việc tích hợp các tiêu chuẩn về sức khỏe hành khách và tính sẵn sàng của chuỗi cung ứng không chỉ đảm bảo an toàn sinh kế mà còn nâng cao trải nghiệm người dùng. Đây là yêu cầu nền tảng để hoàn thiện giá trị cốt lõi, tạo dựng không gian tối ưu lấy con người làm trung tâm.

Bảng 3. Khung tiêu đánh giá tiên tiến cho nhóm tiêu chí xã hội (Nguồn: Nhóm tác giả)

Nội dung		Ưu tiên	Trọng số
Chất lượng môi trường trong nhà	Hàm lượng hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (VOC) thấp	2	23,45
	Hàm lượng Formaldehyde thấp	1	24,6
Khả năng tiếp cận và chuỗi cung ứng	Vật liệu sẵn sàng cung ứng	1	24,75
Tác động đến cộng đồng	Tạo việc làm cho địa phương	1	24,6
An toàn và hiệu suất	An toàn PCCC	1	25,65
	Hiệu suất vượt trội và đổi mới giải pháp vật liệu	2	24,35

4. THẢO LUẬN

Xây dựng hệ thống đánh giá tiên tiến cho VLX với 3 nhóm tiêu chí kinh tế - môi trường và xã hội với điều kiện tiên quyết là mọi vật liệu phải đáp ứng nghiêm ngặt các tiêu chuẩn về an toàn PCCC theo QCVN và quốc tế. Cả ba khía cạnh này đều có vai trò riêng biệt và không thể thay thế trong một đánh giá bền vững toàn diện cho các dự án CHK, SB thế hệ mới tại Việt Nam. Dựa trên kết quả phân tích bằng phương pháp AHP, khung đánh giá tiên tiến cho VLX tại CHK, SB được xác lập với cấu trúc trọng số ưu tiên hóa nhằm đảm bảo tính khả thi và bền vững. Kết quả khảo sát đa bên với mức độ đồng thuận cao đã xác thực tính thực chứng của khung AGMAF trong việc đáp ứng nhu cầu thực tiễn trong CHK SB. Nhóm tiêu chí Kinh tế đã khẳng định được xu hướng ưu tiên hiệu quả tài chính thông qua chi phí vòng đời (LCC) thay vì chi phí đầu tư ban đầu. Trong đó tiêu chí về tuổi thọ và độ bền mối chiếm trọng số cao nhất 27,55 và 24,80 được xem là những định hướng cốt lõi giúp quản lý dự án dài hạn. Nhóm tiêu chí về Môi trường hướng đến hiện thực hóa lộ trình Net Zero carbon vào năm 2050 tiêu chí ưu tiên lựa chọn vật liệu có chứng nhận xanh với trọng số 23,85 và vật liệu có khả năng tái sử dụng 23,8. Mặc dù chiếm tỷ trọng thấp nhất nhưng nhóm tiêu chí về xã hội vẫn giữ vai trò thiết yếu trong việc tối ưu hóa chất lượng môi trường trong nhà và đảm bảo an

toàn PCCC, điều kiện tiên quyết đối với các công trình đặc thù như CHK, SB.

Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng nhận diện được các rào cản chính bao gồm sự thiếu hụt tiêu chuẩn kỹ thuật chuyên biệt cho hạ tầng HK trong hệ thống TCVN và QCVN với cơ chế đấu thầu hiện hành chưa chú trọng chi phí vòng đời (LCC). Đồng thời sự thiếu vắng cơ sở dữ liệu quốc gia về đánh giá vòng đời (LCA) là điểm nghẽn cần được xử lý. Tổng thể, AGMAF đã lấp đầy những khoảng trống lý thuyết bằng một hệ thống tiêu chí hài hòa đồng thời đặt ra những yêu cầu về việc điều chỉnh chính sách để phát triển bền vững hơn. Tuy nhiên, để ứng dụng rộng rãi cần tiếp tục nhận diện và tháo gỡ các rào cản về tài chính và chính sách hỗ trợ nhằm thúc đẩy chuỗi cung ứng vật liệu bền vững trong tương lai.

Nhằm tối ưu hóa tính ứng dụng và hoàn thiện khung đánh giá AGMAF trong bối cảnh thực tiễn, các nghiên cứu tiếp theo cần tập trung vào ba định hướng trọng tâm: (i) Cần triển khai áp dụng thí điểm hệ thống tiêu chí này vào các dự án hạ tầng trọng điểm hiện nay như CHKQT Long Thành để kiểm chứng và hiệu chỉnh bộ trọng số dựa trên dữ liệu vận hành thực tế; (ii) Việc số hóa quy trình đánh giá thông qua nghiên cứu xây dựng phần mềm hỗ trợ quyết định hoặc tích hợp AGMAF vào mô hình thông tin công trình là cần thiết để tự động việc tính toán dấu chân các-bon và tối ưu lựa chọn vật liệu ngay từ giai đoạn thiết kế sơ bộ; và (iii) Nghiên cứu cần đi sâu vào việc xây dựng hệ thống định mức kinh tế kỹ thuật và cơ chế tài chính xanh cho vật liệu bền vững trong ngành HK, nhằm tháo gỡ các rào cản về chi phí và pháp lý đã được nhận diện trong nghiên cứu này.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã giải quyết khoảng trống về một khung đánh giá VLX chuyên biệt cho hạ tầng HK tại Việt Nam dựa trên ba trụ cột chính kinh tế - môi trường và xã hội. Kết quả nghiên cứu giúp chuẩn hóa các tiêu chí đồng thời nhận diện các rào cản thực tế trong chuỗi cung ứng vật liệu, chi phí và pháp lý. Đây là cơ sở khoa học quan trọng hỗ trợ các nhà quản lý và đơn vị phát triển CHK lựa chọn vật liệu tối ưu, góp phần hiện thực hóa mục tiêu hạ tầng xanh và PTBV ngành HK Việt Nam trong tương lai. Nếu được ứng dụng rộng rãi, kết quả này sẽ thúc đẩy thị trường vật liệu bền vững nội địa, chuẩn hóa quy trình xây dựng hạ tầng CHK SB và trực tiếp đóng góp vào mục tiêu giảm phát thải quốc gia.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn Học viện Hàng không Việt Nam đã hỗ trợ và tạo điều kiện thuận lợi cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Liên Hợp Quốc Việt Nam. Các mục tiêu phát triển bền vững tại Việt Nam. Internet: <https://vietnam.un.org/vi/sdgs> (truy cập tháng 03/2026).
- [2] Minh Hạnh. Việt Nam triển khai các cam kết khí hậu tại COP26, Bộ Nông nghiệp và Môi trường, ngày 30/09/2025. Internet: <https://mae.gov.vn/viet-nam-trien-khai-cac-cam-ket-khi-hau-tai-cop26-19890.htm> (truy cập tháng 03/2026).
- [3] Thủ tướng Chính phủ. Quyết định số 648/QĐ-TTg phê duyệt Quy hoạch tổng thể phát triển hệ thống Cảng hàng không, Sân bay toàn quốc thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến 2050, ngày 07/06/2023. Internet: <https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Xay-dung-Do-thi/Quyết-dinh-648-QĐ-TTg-2023-phat-trien-he-thong-cang-hang-khong-san-bay-toan-quoc-2021-2030-568857.aspx> (truy cập tháng 03/2026).
- [4] Hà An. Xanh hóa vật liệu xây dựng, Tạp chí Kiến trúc, ngày 09/05/2024. Internet: <https://www.tapchikientruc.com.vn/chuyen-muc/xanh-hoa-vat-lieu-xay-dung.html> (truy cập tháng 03/2026).
- [5] Giảm phát thải khí nhà kính trong sản xuất xi măng, Tạp chí Điện tử Thiên nhiên và Môi trường, ngày 25/01/2024. Internet: <https://moitruongchau.com.vn/giam-phat-thai-khi-nha-kinh-trong-san-xuat-xi-mang.html> (truy cập tháng 03/2026).

[6] Nguyễn Thị Tâm, Lê Cao Chiến. Vật liệu xây dựng xanh - Xu thế của tương lai, Tạp chí Xây dựng, ngày 08/08/2022. Internet: <https://tapchixaydung.vn/vat-lieu-xay-dung-xanh-xu-the-cua-tuong-lai-202122400012929.html> (truy cập tháng 03/2026).

[7] Chính phủ. Nghị định 06/2022/NĐ-CP Quy định giảm nhẹ phát thải khí nhà kính và bảo vệ tầng ô-dôn, ngày 07/01/2022. Internet: <https://vanban.chinhphu.vn/?pageid=27160&docid=205039> (truy cập tháng 03/2026).

[8] Thủ tướng Chính phủ. Quyết định 496/QĐ-TTg, về việc ban hành kế hoạch quốc gia về quản lý, loại trừ các chất làm suy giảm tầng ô-dôn, chất gây hiệu ứng nhà kính được kiểm soát, (2024). Internet: <https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Tai-nguyen-Moi-truong/Quyết-dinh-496-QĐ-TTg-2024-Ke-hoach-quoc-gia-loai-tru-chat-lam-suy-giam-tang-o-don-613308.aspx> (truy cập tháng 03/2026).

[9] Saaty, T. L. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. New York ; London : McGraw-Hill International Book Co. (1980).

[10] U.S. Green Building Council (USGBC). LEED v4.1 Building Design and Construction Guide.

[11] Building Research Establishment (BRE). BREEAM International New Construction Technical Guide.

[12] International Air Transport Association (IATA). Airport Terminals Reference Manual (ATRM).

[13] International Civil Aviation Organization (ICAO). Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation: Aerodromes.