

Định hướng tiếp cận dựa trên hiệu suất và quản lý rủi ro trong đánh giá an toàn kết cấu công trình hàng không

Performance-based and risk-managed approach to Structural safety assessment of Aviation facilities

> TS NGUYỄN PHI LONG*, TS NGUYỄN THỊ THU TRÀ

Khoa Xây dựng, Học viện Hàng không Việt Nam; *Email: longnp@vaa.edu.vn

TÓM TẮT

Ngành hàng không Việt Nam đang trải qua giai đoạn tăng trưởng mạnh mẽ, tạo ra áp lực đáng kể lên hệ thống hạ tầng kỹ thuật và đòi hỏi sự chuyển đổi cấp thiết trong triết lý quản lý an toàn kết cấu. Nghiên cứu này phân tích sâu các khoảng trống kỹ thuật và pháp lý trong hệ thống tiêu chuẩn hiện hành, vốn vẫn đang "vay mượn" tiêu chuẩn từ lĩnh vực xây dựng dân dụng, dẫn tới sự thiếu nhất quán và chưa phù hợp với các loại tải trọng đặc thù của ngành hàng không.

Bằng phương pháp tổng hợp, phân tích tài liệu và tham chiếu các tiêu chuẩn quốc tế hàng đầu (ICAO, FAA, Eurocodes), bài báo đề xuất một định hướng xây dựng khung Tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN) chuyên ngành. Khung tiêu chuẩn mới được xây dựng dựa trên phương pháp luận tiên tiến là Đánh giá dựa trên Hiệu suất (PBA) và Quản lý Rủi ro, tích hợp các công nghệ hiện đại như Kiểm tra không phá hủy (NDT) và Giám sát sức khỏe kết cấu (SHM). Các tiêu chí kỹ thuật định lượng chi tiết được đề xuất cho các công trình cốt lõi như Nhà ga hành khách, Đài kiểm soát không lưu và Trung tâm kiểm soát đường dài, nhằm mục tiêu nâng cao năng lực quản lý, đảm bảo an toàn khai thác và tính bền vững cho hạ tầng hàng không quốc gia.

Từ khóa: An toàn kết cấu, công trình hàng không, Tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN), đánh giá dựa trên hiệu suất (PBA), quản lý rủi ro, giám sát sức khỏe kết cấu (SHM).

ABSTRACT

Vietnam's aviation sector is undergoing a phase of extraordinary growth, exerting immense pressure on technical infrastructure systems and necessitating an urgent paradigm shift in structural safety management philosophy. This study conducts an in-depth analysis of the technical and regulatory gaps in the existing standards framework, which currently relies on "borrowed" provisions from civil construction domains, resulting in inconsistencies and incompatibilities with the aviation-specific loading regimes. Employing synthesis, documentary analysis, and cross-referencing with leading international standards (ICAO, FAA, Eurocodes), the paper proposes a strategic framework for developing specialized Vietnamese National Standards (TCVN). The proposed standards framework is grounded in advanced methodologies, namely Performance-Based Assessment (PBA) and Risk Management, while integrating contemporary technologies such as Non-Destructive Testing (NDT) and Structural Health Monitoring (SHM). Detailed quantitative technical criteria are formulated for core aviation facilities, including Passenger Terminals, Air Traffic Control Towers, and Area Control Centers, with the objectives of enhancing management capacity, ensuring operational safety, and promoting sustainability of the national aviation infrastructure.

Keywords: Structural safety, aviation structures, Vietnamese National Standards (TCVN), performance-based assessment (PBA), risk management, structural health monitoring (SHM).

1. GIỚI THIỆU

Ngành hàng không dân dụng Việt Nam đang chứng kiến tốc độ tăng trưởng mạnh mẽ, với lượng hành khách liên tục duy trì mức tăng 15-20% mỗi năm, tạo áp lực lớn lên hệ thống hạ tầng cảng hàng không hiện có cũng như các dự án trọng điểm trong tương lai, điển hình là Cảng Hàng không Quốc tế Long Thành. Trong bối cảnh đó, an toàn kết

cấu công trình không chỉ còn là một vấn đề kỹ thuật thuần túy mà đã trở thành trụ cột nền tảng, giữ vai trò then chốt đối với sự an toàn, hiệu quả và phát triển bền vững của toàn ngành. Tuy nhiên, một khoảng trống pháp lý và kỹ thuật cốt lõi vẫn tồn tại: Việt Nam hiện chưa có một bộ Tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN) chuyên ngành, được "thiết kế" phù hợp với đặc điểm kết cấu phức tạp và điều kiện khai thác đặc thù của hệ

thống cảng hàng không. Công tác đánh giá hiện nay chủ yếu dựa trên việc kết hợp rời rạc các tiêu chuẩn xây dựng dân dụng như TCVN 5574:2018 hay TCVN 5575:2012, dẫn đến quá trình đánh giá mang tính tùy nghi, thiếu nhất quán và chưa đáp ứng yêu cầu khoa học cần thiết để quản lý rủi ro một cách hiệu quả.

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm giải quyết khoảng trống nói trên, với mục tiêu chiến lược là đề xuất định hướng xây dựng một bộ TCVN chuyên biệt, có khả năng: (1) hài hòa với các tiêu chuẩn quốc tế (ICAO, FAA); (2) thích ứng với các điều kiện đặc thù của Việt Nam; và (3) chuẩn hóa việc áp dụng các công nghệ quản lý tiên tiến.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Khung pháp lý và tiêu chuẩn kỹ thuật hiện hành của Việt Nam

Hệ thống quản lý an toàn công trình hàng không tại Việt Nam đã được thiết lập một nền móng pháp lý và quy trình quản lý vững chắc. Các văn bản pháp lý cấp cao như Nghị định số 06/2021/NĐ-CP (NĐ 06) của Chính phủ và Thông tư số 24/2021/TT-BGTVT (TT 24) của Bộ Giao thông vận tải đã hoàn thành vai trò xác định rõ "cái gì" cần phải quản lý (an toàn kết cấu), ai là người chịu trách nhiệm (chủ sở hữu/người quản lý), và khi nào cần thực hiện (tần suất). TT 24 đã vạch ra một lộ trình thực hiện bài bản, có tính quy trình cao.

Tuy nhiên, kết quả phân tích hệ thống cho thấy khoảng trống pháp lý và kỹ thuật cốt lõi đã được nhận diện rõ ràng. Hạn chế lớn nhất nằm ở việc thiếu một bộ Tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN) chuyên ngành, thống nhất, quy định phương pháp luận, các chỉ tiêu định lượng và các ngưỡng đánh giá được "thiết kế" riêng cho kết cấu cảng hàng không. Nói cách khác, hệ thống pháp luật hiện nay mạnh về quy trình nhưng lại thiếu các "công cụ kỹ thuật" để trả lời câu hỏi cốt lõi: đánh giá bằng cái gì

Sự thiếu hụt này dẫn đến thực trạng công tác đánh giá an toàn kết cấu phải "vay mượn" hoặc kết hợp rời rạc các tiêu chuẩn từ lĩnh vực xây dựng dân dụng và công nghiệp, làm giảm tính thống nhất và độ tin cậy trong đánh giá. Hiện nay, các tiêu chuẩn nền tảng đang được vận dụng bao gồm:

- **TCVN 5574:2018** (Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép).
- **TCVN 5575:2012** (Kết cấu thép).
- **TCVN 9381:2012** (Hướng dẫn đánh giá mức độ nguy hiểm của kết cấu nhà).
- **TCVN 2737:2023** (Tải trọng và tác động).

Việc áp dụng các tiêu chuẩn chung này tạo ra rủi ro tiềm tàng. Các tiêu chuẩn này không được xây dựng để giải quyết các vấn đề kỹ thuật phức tạp và đặc thù của công trình hàng không, chẳng hạn như tải trọng động từ hệ thống băng chuyền hành lý, tải trọng rung động từ hoạt động của cầu ống lồng, tải trọng mật độ cao của đám đông tại nhà ga, tải trọng khai thác đặc thù từ thiết bị công nghệ cao trong Đài Kiểm soát không lưu (ATCT) và Trung tâm Kiểm soát đường dài (ACC). Hậu quả là việc đánh giá có thể được thực hiện một cách tùy nghi, dựa trên kinh nghiệm chủ quan của từng đơn vị kiểm định, dẫn đến kết quả thiếu nhất quán, khó so sánh và không đảm bảo tính khách quan cần thiết. Đây chính là luận cứ khoa học vững chắc nhất khẳng định tính cấp thiết của việc xây dựng bộ tiêu chuẩn chuyên ngành.

2.2. Tham chiếu quốc tế và các phương pháp luận tiên tiến

Để nâng cao chất lượng kỹ thuật, khắc phục hạn chế của tiêu chuẩn quốc gia, và đảm bảo khả năng tương thích quốc tế, việc tham chiếu các tiêu chuẩn quốc tế uy tín là một định hướng chiến lược.

2.3. Các tiêu chuẩn và khung pháp lý quốc tế cốt lõi

Việt Nam cần từng bước tích hợp và hài hòa hóa có chọn lọc các nguyên tắc từ ba hệ thống tiêu chuẩn hàng đầu:

- ICAO (Tổ chức Hàng không Dân dụng Quốc tế): Cung cấp định hướng vĩ mô và khuôn khổ cho Hệ thống Quản lý an toàn (SMS). ICAO Annex 14 (Aerodromes) đưa ra các yêu cầu chung về quy hoạch và thiết kế sân bay, trong khi ICAO Annex 19 (Safety Management) và Doc 9137

(Airport Services Manual) yêu cầu nhận diện mối nguy và quản lý rủi ro chủ động liên quan đến kết cấu hạ tầng. Các tiêu chuẩn của ICAO chủ yếu tập trung vào các yêu cầu mang tính nguyên tắc chung và khía cạnh an toàn vận hành, ít đi sâu vào chi tiết kết cấu.

- FAA (Cục Hàng không Liên bang Hoa Kỳ): Cung cấp các hướng dẫn kỹ thuật chi tiết, có tính thực tiễn và khả thi cao dưới dạng Advisory Circulars (ACs), rất hữu ích cho việc xây dựng TCVN chi tiết. FAA cung cấp kinh nghiệm thực tiễn và chi tiết kỹ thuật sâu rộng về thiết kế, xây dựng, bảo trì sân bay.

- Eurocodes (Tiêu chuẩn châu Âu): Cung cấp nền tảng lý thuyết và kỹ thuật vững chắc cho thiết kế kết cấu, sử dụng phương pháp tính toán theo trạng thái giới hạn (Limit State Design - LSD). Đặc biệt, Eurocodes có cơ chế Thống số được Xác định ở Cấp Quốc gia (Nationally Determined Parameters - NDPs), cho phép các quốc gia thành viên điều chỉnh một số giá trị thiết kế (như hệ số an toàn, tải trọng địa phương) theo điều kiện quốc gia. Đây là mô hình rất phù hợp để Việt Nam "nội địa hóa" các quy tắc kỹ thuật.

2.4. Phương pháp luận đánh giá tiên tiến

Thế giới đang chuyển dịch từ mô hình quản lý an toàn bị động sang mô hình chủ động và tiên lượng (proactive/predictive).

- Đánh giá dựa trên Hiệu suất (Performance-Based Assessment - PBA): Là triết lý quản lý mới, tập trung vào việc định lượng hóa các mục tiêu hiệu suất (ví dụ: tuổi thọ còn lại, giới hạn biến dạng, thời gian sơ tán ≤ 7 phút) thay vì chỉ tuân thủ quy định. PBA yêu cầu công trình phải chứng minh khả năng đạt được các mục tiêu an toàn cụ thể thông qua các công cụ khoa học như mô phỏng.

- Quản lý rủi ro chủ động: Triết lý này, được thúc đẩy bởi ICAO Annex 19, yêu cầu nhận diện, đánh giá và giảm thiểu rủi ro liên tục, xây dựng các quy trình quản lý động và có tính hệ thống. Việt Nam cần chuyển đổi từ triết lý dựa trên tuân thủ quy tắc sang quản lý dựa trên rủi ro.

- Tích hợp công nghệ tiên tiến: Chuẩn hóa quy trình ứng dụng các công nghệ hiện đại là yếu tố cốt lõi. Các công nghệ bao gồm:

- Kiểm tra không phá hủy (NDT): Sử dụng các phương pháp như Siêu âm vận tốc xung (UPV), đo điện thế ăn mòn (Half-cell Potential), Radar xuyên đất (GPR), và Chụp ảnh nhiệt hồng ngoại (IRT) để đánh giá tình trạng vật liệu và hư hỏng tiềm ẩn bên trong.

- Giám sát sức khỏe kết cấu (SHM): Sử dụng hệ thống cảm biến để thu thập dữ liệu vận hành theo thời gian thực (biến dạng, rung động) để hỗ trợ bảo trì dự báo.

- Mô phỏng phần tử hữu hạn (FEM) và BIM/Digital Twin: Ứng dụng mô phỏng động lực học để kiểm chứng thiết kế và đánh giá lại khả năng chịu lực của các kết cấu phức tạp.

2.5. Nguyên tắc nội địa hóa (Localization) và thích ứng hóa (Adaptation)

Việc áp dụng tiêu chuẩn quốc tế cần phải được "thích ứng hóa" để phù hợp với điều kiện Việt Nam. Nguyên tắc này yêu cầu điều chỉnh các thông số thiết kế dựa trên các yếu tố đặc thù trong nước:

- Tải trọng và Hệ số an toàn: Cần điều chỉnh các tham số thiết kế (NDPs) như hệ số tầm quan trọng (γ_n) đối với tải trọng gió không nhỏ hơn 1.2 (theo TCVN 2737:2023) và hệ số tầm quan trọng (γ_f) đối với tác động động đất không nhỏ hơn 1.25 (theo TCVN 9386:2012). Chu kỳ lặp của gió thiết kế cho công trình quan trọng như ACC cần là tối thiểu 100 năm.

- Rung động và Ổn định: Thiết lập các giới hạn nghiêm ngặt về rung động và tần số dao động riêng (≤ 0.05 mm/s RMS và ≥ 15 Hz) cho các sàn thiết bị công nghệ nhạy cảm trong ACC, vượt qua các giới hạn chung của TCVN hiện hành.

- Môi trường xâm thực: Khí hậu nhiệt đới ẩm, nguy cơ ăn mòn cao ở vùng ven biển. Cần tăng cường quy định về độ bền lâu (Durability), bao gồm việc sử dụng vật liệu chống ăn mòn, tăng chiều dày lớp bảo vệ bê tông cốt thép, và kiểm tra điện thế ăn mòn cốt thép ($E < -350$ mV là nguy cơ cao).

- Tính khả thi kinh tế - kỹ thuật: Bộ tiêu chí phải cân bằng giữa yêu cầu kỹ thuật cao và khả năng đáp ứng về chi phí, vật liệu, và năng lực thi công tại Việt Nam. Cần khuyến khích các giải pháp có chi phí hợp lý và ưu tiên các giải pháp an toàn hiệu quả về mặt kinh tế.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu này được xây dựng trên một phương pháp luận tổng hợp, hệ thống và đa chiều, nhằm giải quyết triệt để khoảng trống kỹ thuật cốt lõi hiện có trong hệ thống tiêu chuẩn quốc gia. Triết lý xuyên suốt là chuyển đổi mô hình quản lý an toàn từ bị động, dựa trên tuân thủ quy tắc sang mô hình chủ động, dựa trên dữ liệu và khả năng dự báo. Phương pháp nghiên cứu bao gồm các bước chính sau:

3.1. Phân tích tài liệu

Bước nền tảng này nhằm rà soát, hệ thống hóa và đánh giá tính đầy đủ, đồng bộ của khung pháp lý và kỹ thuật hiện hành tại Việt Nam.

- Phân tích khung pháp lý và quy trình: Nghiên cứu đi sâu vào các văn bản pháp lý cấp cao như Nghị định số 06/2021/NĐ-CP (NĐ 06) và Thông tư số 24/2021/TT-BGTVT (TT 24). Phân tích đã khẳng định NĐ 06 đã hoàn thành vai trò xác định rõ "cái gì" cần làm và "ai" chịu trách nhiệm, trong khi TT 24 cụ thể hóa quy trình quản lý, tần suất kiểm tra (ví dụ: Đài Kiểm soát không lưu là 12 tháng/lần, Nhà ga hành khách là 36 tháng/lần).

- Đánh giá Hệ thống tiêu chuẩn kỹ thuật (TCVN): Nghiên cứu đã phân tích các tiêu chuẩn đang được "vay mượn" từ lĩnh vực xây dựng dân dụng và công nghiệp, bao gồm TCVN 5574:2018 (Bê tông cốt thép), TCVN 5575:2012 (Kết cấu thép), TCVN 9381:2012 (Đánh giá mức độ

nguy hiểm của kết cấu nhà), và TCVN 2737:2023 (Tải trọng và tác động). Kết quả phân tích chỉ ra rằng việc áp dụng các tiêu chuẩn chung này tạo ra kết quả đánh giá thiếu nhất quán, khó so sánh và không đảm bảo tính khách quan cần thiết cho các công trình hàng không đặc thù.

3.2. Nghiên cứu so sánh

Bước này thực hiện đối chiếu hệ thống tiêu chuẩn Việt Nam với các bộ tiêu chuẩn quốc tế uy tín, nhằm nhận diện sự khác biệt về triết lý, phương pháp luận và các chỉ tiêu kỹ thuật cốt lõi.

1. Tham chiếu Hệ thống Quốc tế: Nghiên cứu tham khảo tích cực các tiêu chuẩn và khuyến nghị sau:

- ICAO (Annex 14, Annex 19, Doc 9157): Cung cấp định hướng vĩ mô và khuôn khổ cho Hệ thống Quản lý an toàn (SMS). Ví dụ, ICAO Annex 14 yêu cầu khả năng chịu lửa tối thiểu 120 phút cho nhà ga, vượt trội so với TCVN 2622:1995 (60 phút).

- FAA (Advisory Circulars): Cung cấp tính thực tiễn và chi tiết kỹ thuật cao, đặc biệt về quy trình bảo trì, thiết kế và vật liệu.

- Eurocodes: Cung cấp nền tảng lý thuyết vững chắc (phương pháp tính toán theo trạng thái giới hạn) và cơ chế Thông số xác định ở cấp quốc gia (NDPs) để nội địa hóa tiêu chuẩn.

2. Xác định Khoảng trống kỹ thuật: Qua đối chiếu, nghiên cứu đã lượng hóa các khoảng trống cần lấp đầy, ví dụ: thiếu các chỉ tiêu định lượng về rung động cho sàn thiết bị ACC (cần đạt ≤ 0.05 mm/s RMS và ≥ 15 Hz; thiếu quy định chuyên biệt về tải trọng khai thác đặc thù (mật độ người, băng chuyển hành lý).

Bảng 1. Tóm tắt So sánh và Khoảng trống tiêu chuẩn

Tiêu chí	Tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành (TCVN, TCCS chung)	Tiêu chuẩn quốc tế (ICAO, FAA, Eurocodes)	Khoảng trống/Hạn chế của TCVN Việt Nam
Phạm vi	Xây dựng dân dụng, công nghiệp chung.	Chuyên biệt cho hàng không, toàn diện.	Thiếu tính chuyên biệt cho hàng không, chưa bao quát hết các yêu cầu đặc thù.
Trọng tâm	Thiết kế, thi công, chất lượng chung.	An toàn khai thác, hiệu suất, quản lý rủi ro, vật liệu, phân tích kết cấu chi tiết.	Ít tập trung vào phương pháp đánh giá an toàn, dự báo tuổi thọ, quản lý rủi ro cụ thể cho cảng hàng không.
Tải trọng	Tải trọng thông thường, ít đề cập đến tải trọng động đặc thù của máy bay,.	Đề cập chi tiết tải trọng máy bay (ACN-PCN, ADG, TDG), tải trọng động, rung động, ảnh hưởng môi trường.	Chưa có quy định cụ thể về tính toán tải trọng khai thác đặc thù, tải trọng động, ảnh hưởng của môi trường đặc biệt cho kết cấu cảng hàng không.
An toàn & Đánh giá	Ít đề cập đến các khía cạnh an toàn chuyên sâu. Phương pháp đánh giá chung chung.	Tích hợp an toàn, quy trình đánh giá chi tiết, có chỉ số định lượng, phương pháp phân tích hiện đại.	Hạn chế về phương pháp đánh giá định lượng, thiếu các chỉ số đánh giá rủi ro chuyên biệt, chưa có hướng dẫn chi tiết về áp dụng NDT, SHM, AI trong đánh giá an toàn.
Tính địa phương	Ít có cơ chế điều chỉnh theo điều kiện địa phương.	Có cơ chế NDPs cho phép điều chỉnh theo điều kiện quốc gia,.	Cần có cơ chế để điều chỉnh tiêu chuẩn cho phù hợp với điều kiện khí hậu, địa chất, kinh tế - kỹ thuật đặc thù của Việt Nam

3.3. Tổng hợp và đề xuất

Đây là bước cốt lõi, chuyển hóa kết quả phân tích thành các định hướng xây dựng khung tiêu chuẩn mới.

1. Định hình triết lý và phương pháp luận: Khung tiêu chuẩn mới được xây dựng trên nền tảng triết lý Đánh giá dựa trên hiệu suất (PBA) và Quản lý rủi ro chủ động (SMS). Phương pháp luận đánh giá phải chuyển từ định tính sang định lượng, bảo đảm khoa học và dựa trên nguyên tắc Trạng thái giới hạn (Limit State Design - LSD).

2. Nội địa hóa và điều chỉnh thông số kỹ thuật (Localization and Adaptation): Nghiên cứu kiến nghị áp dụng cơ chế tương tự NDPs của Eurocodes để điều chỉnh các tham số thiết kế phù hợp với điều kiện Việt Nam (khí hậu nhiệt đới, ăn mòn ven biển). Cụ thể, yêu cầu hệ số tầm quan trọng (γ_n) đối với tải trọng gió không nhỏ hơn 1,2 và hệ số tầm quan trọng (γ) đối với tác động động đất không nhỏ hơn 1,25.

3. Chuẩn hóa công nghệ: Tiêu chuẩn hóa việc ứng dụng các công nghệ tiên tiến như Kiểm tra không phá hủy (NDT) (ví dụ: Siêu âm, GPR, Chụp ảnh nhiệt, Đo điện thế Âm mòn) và Hệ thống giám sát sức khỏe kết cấu (SHM) để thu thập dữ liệu định lượng và hỗ trợ bảo trì dự báo.

4. Thử nghiệm và Xác thực dự thảo tiêu chuẩn: Để xác thực tính hiệu quả và khả thi của dự thảo TCVN, một quy trình thử nghiệm được xây dựng để áp dụng trên ba hạng mục công trình điển hình: Nhà ga hành khách, Đài Kiểm soát không lưu (ATCT) và Trung tâm Kiểm soát đường dài (ACC). Hoạt động này nhằm thu thập dữ liệu định lượng (biến dạng, rung động, độ bền vật liệu) để tinh chỉnh các giới hạn kỹ thuật trong dự thảo.

Việc áp dụng phương pháp luận tổng hợp và nghiêm ngặt này đảm bảo rằng bộ tiêu chí an toàn đề xuất không chỉ đáp ứng các chuẩn mực quốc tế mà còn có tính khả thi cao trong môi trường vận hành thực tế tại Việt Nam.

Bảng 2. So sánh tóm tắt các Tiêu chuẩn quốc tế chính và mức độ liên quan đến Việt Nam

Tiêu chí	ICAO (Annex 14, Doc 9157)	FAA (Advisory Circulars - ACs)	Eurocodes (EN 1990-1998)	Mức độ liên quan và cách Việt Nam tham chiếu
Phạm vi	Toàn cầu, quy hoạch, thiết kế sân bay, vận hành bay, an toàn chung.	Quốc gia (Hoa Kỳ), rất chi tiết kỹ thuật cho thiết kế, xây dựng, bảo trì sân bay.	Châu Âu và quốc tế, bộ tiêu chuẩn thiết kế kết cấu toàn diện cho nhiều loại công trình.	Việt Nam cần tích hợp cả ba cấp độ: nguyên tắc chung từ ICAO, chi tiết thực tiễn từ FAA, và nền tảng kỹ thuật từ Eurocodes.
Trọng tâm	Nguyên tắc vận hành, an toàn bay, thiết kế bề mặt sân bay, ít chi tiết tính toán kết cấu.	Chi tiết kỹ thuật, vật liệu, quy trình thi công/bảo trì, an toàn khai thác sân bay.	Nền tảng kỹ thuật, phương pháp tính toán theo trạng thái giới hạn (Limit State Design), nguyên tắc về an toàn, sử dụng và độ bền.	ICAO: Nền tảng quốc tế về an toàn chung, quy hoạch. FAA: Nguồn tham khảo chi tiết, thực tiễn cho thiết kế, xây dựng, bảo trì và đánh giá, đặc biệt trong các dự án hợp tác. Eurocodes: Nguồn tham khảo cho nguyên tắc thiết kế kết cấu, vật liệu, nhưng cần điều chỉnh đặc thù sân bay và Việt Nam.
Đối với Kết cấu	Cung cấp yêu cầu chung về kích thước, tải trọng (ACN-PCN), ít chi tiết tính toán.	Chi tiết về thiết kế đường băng, đường lăn, sân đỗ, vật liệu, móng, chịu tải.	Cung cấp phương pháp luận chi tiết về tính toán kết cấu (bê tông, thép, liên hợp), tải trọng, vật liệu, độ bền, ổn định.	Cần tham chiếu FAA cho các yêu cầu kỹ thuật cụ thể và Eurocodes cho phương pháp tính toán sâu hơn.
Lý do Tham chiếu	Đảm bảo an toàn toàn cầu, hội nhập quốc tế.	Tính thực tiễn cao, chi tiết, có thể áp dụng trực tiếp cho các dự án.	Nền tảng khoa học vững chắc, linh hoạt điều chỉnh theo quốc gia thông qua cơ chế NDPs.	Để tiếp thu kinh nghiệm, nâng cao chất lượng, đảm bảo an toàn, hội nhập quốc tế, và làm cơ sở xây dựng TCVN chuyên ngành.
Thách thức khi áp dụng tại VN	Ít chi tiết về kết cấu, cần bổ sung.	Khác biệt về điều kiện kinh tế, khí hậu, môi trường, có thể cần điều chỉnh.	Cần điều chỉnh NDPs (Nationally Determined Parameters), bổ sung cho đặc thù sân bay, điều kiện khí hậu, kinh tế Việt Nam.	Khí hậu và Môi trường: Nhiệt đới, ẩm, ăn mòn, biến đổi khí hậu (cần điều chỉnh vật liệu, hệ số an toàn). Kinh tế: Chi phí cao của một số công nghệ/vật liệu quốc tế. Tính đặc thù: Cần bổ sung các tải trọng, điều kiện khai thác đặc thù của Việt Nam.

4. BÀI TOÁN ÁP DỤNG

Để cụ thể hóa định hướng xây dựng tiêu chuẩn, nghiên cứu áp dụng khung phương pháp luận đã đề xuất (PBA và Quản lý Rủi ro) để xây dựng bộ tiêu chí kỹ thuật chuyên biệt cho ba loại hình công trình hạ tầng hàng không cốt lõi, vốn có yêu cầu về an toàn và tính liên tục hoạt động ở các cấp độ khác nhau: Nhà ga hành khách, Đài Kiểm soát Không lưu, và Trung tâm Kiểm soát đường dài.

4.1. Nhà ga hành khách (Passenger Terminal): An toàn con người và khả năng ứng phó

Nhà ga hành khách là công trình công cộng quy mô lớn, nơi tập trung mật độ người cao nhất trong toàn bộ cảng hàng không. Do đó, tiêu chí an toàn phải tập trung vào An toàn con người (Life Safety), An toàn chịu lực của kết cấu nhịp lớn, và Khả năng phục hồi (Resilience) của hệ thống phòng cháy chữa cháy (PCCC).

4.1.1. Khả năng chịu lửa và thoát hiểm (Fire Resistance and Egress)

Khoảng trống kỹ thuật lớn nhất trong TCVN hiện hành là yêu cầu về khả năng chịu lửa.

- Giới hạn Chịu lửa bắt buộc: Nâng giới hạn chịu lửa tối thiểu cho các cấu kiện chịu lực chính (cột, dầm, sàn) lên REI 120 (120 phút), tuân thủ ICAO Annex 14 và thông lệ quốc tế tiên tiến, gấp đôi so với yêu cầu 60 phút của TCVN 2622:1995. Việc này cung cấp gấp đôi "thời gian vàng" cho công tác sơ tán và cứu hộ.

- Tiêu chí Hiệu suất thoát hiểm: Thiết lập ngưỡng thời gian sơ tán tối đa 7 phút (≤ 7 phút). Tiêu chí này buộc nhà thiết kế phải tính toán và mô phỏng dòng người (dựa trên EASA) để đảm bảo tính mạng con người là ưu tiên cao nhất.

4.1.2. An toàn kết cấu và tải trọng

- Phân loại và Hệ số tầm quan trọng: Nhà ga hành khách được xếp vào nhóm công trình có cấp hậu quả CC3 (mức độ cao) theo QCVN 03:2022/BXD. Do đó, hệ số độ tin cậy về tầm quan trọng của công trình (γ_n) phải được lấy không nhỏ hơn 1,1 khi kiểm tra khả năng chịu lực.

- Hoạt tải sàn: Hoạt tải tiêu chuẩn tối thiểu trên sàn tại các khu vực tập trung đông người (sảnh chờ, khu thương mại) cần được quy định rõ ràng không nhỏ hơn 5 kN/m².

- Vật liệu bền vững: Bắt buộc sử dụng vật liệu cường độ cao, cụ thể là bê tông cốt thép có cường độ chịu nén đặc trưng tối thiểu 30 MPa (B30) và thép cường độ cao. Việc này trực tiếp nâng cao độ bền lâu và khả năng chống ăn mòn cho kết cấu.

- Điều chỉnh Thông số địa phương (Localization): Cần điều chỉnh các tham số thiết kế (NDPs) như tốc độ gió thiết kế (V_k) và tăng cường chiều dày lớp bê tông bảo vệ để chống nguy cơ ăn mòn cao ở ven biển Việt Nam.

4.2. Đài Kiểm soát không lưu (ATC Tower): An toàn cấp độ đặc biệt (CC3)

Đài Kiểm soát không lưu là công trình có vai trò sống còn (Cấp I hoặc Cấp Đặc biệt/CC3). Mục tiêu thiết kế không chỉ là chống sụp đổ mà phải là Đảm bảo hoạt động liên tục (Operational Continuity) ngay sau các sự kiện cực đoan.

4.2.1. Yêu cầu An toàn chịu lực tuyệt đối

- Hệ số Tầm quan trọng: Dự thảo tiêu chuẩn phải áp dụng các hệ số an toàn cao hơn đáng kể so với công trình thông thường:

- + Hệ số tầm quan trọng (γ_n) đối với tải trọng gió: Không nhỏ hơn

1,2 (theo TCVN 2737:2023).

+ Hệ số tầm quan trọng (γ) đối với tác động động đất: Không nhỏ hơn 1,25 (theo TCVN 9386:2012).

- Phân tích Động lực học: Do đặc thù là kết cấu cao và mảnh, tiêu chuẩn mới cần định hướng sử dụng phương pháp phân tích động lực học gió chi tiết (ASCE 7-16 hoặc Eurocode EN 1991-1-4) thay vì chỉ phân tích tĩnh theo TCVN 2737:2023.

- Kháng Ăn mòn/Giò: Chu kỳ lập của gió thiết kế cho công trình Cấp Đặc biệt cần là tối thiểu 100 năm. Cần có quy định về giải pháp chống ăn mòn (tăng chiều dày lớp bảo vệ 40 - 50 mm, cốt thép mạ kẽm/phủ epoxy) phù hợp với khí hậu Việt Nam.

4.2.2. Kiểm soát Hiệu năng vận hành (SLS)

- Kiểm soát rung động: Phải xác định và áp dụng giá trị giới hạn khắt khe nhất về rung động (vận tốc, gia tốc, tần số dao động) cho kết cấu đỡ. Giới hạn rung động tối đa là 0,1 mm/s RMS tại khu vực thiết bị nhạy cảm.

- Đảm bảo nguồn điện: Tiêu chuẩn cần yêu cầu đảm bảo chuyển đổi nguồn tức thời (0 m/s) cho hệ thống UPS và dưới 10 giây cho nguồn chính (máy phát), tuân thủ ICAO Annex 10, để duy trì hoạt động liên tục.

- PCCC chuyên biệt: Bắt buộc áp dụng tiêu chuẩn NFPA 75 và ưu tiên hệ thống chữa cháy bằng khí sạch hoặc phun sương cho các khu vực chứa thiết bị điện tử nhạy cảm.

4.3. Trung tâm Kiểm soát đường dài (ACC): Khả năng phục hồi tối đa

ACC là CNI (Cơ sở hạ tầng trọng yếu quốc gia), đòi hỏi mức độ dự phòng cao nhất và khả năng chống chịu trước các tác động cực hạn

(Blast Resistance, Cyber Security).

4.3.1. An toàn chịu tải của sàn kỹ thuật

- Khoảng trống: TCVN 2737:2023 thiếu quy định chuyên biệt cho tải trọng thiết bị công nghệ cao.

- Tải trọng Sàn bắt buộc:

+ Hoạt tải phân bố đều (UDL) tại khu vực phòng máy chủ và UPS: Không nhỏ hơn 12 kN/m².

+ Tải trọng tập trung (CL) để kiểm tra khả năng chống chọc thủng: Không nhỏ hơn 10 kN trên diện tích 200 mm x 200 mm.

- Kiểm soát biến dạng sàn: Yêu cầu độ phẳng bề mặt sàn tại khu vực thiết bị nhạy cảm không vượt quá 2 mm trên chiều dài 3 m.

4.3.2. Yêu cầu dự phòng (Redundancy) và PCCC chuyên sâu

- Mức độ dự phòng: Bắt buộc cấu hình dự phòng tối thiểu N+1 cho các hệ thống hạ tầng kỹ thuật cốt lõi (điện, UPS, HVAC), khuyến nghị cấu hình 2N cho các ACC chiến lược.

- Thời gian chuyển mạch: Hệ thống điện dự phòng phải đảm bảo chuyển mạch dưới 10 giây.

- PCCC:

+ Nâng giới hạn chịu lửa ngăn cháy chính lên REI 150 (150 phút) cho các khoang cháy trọng yếu (phòng máy chủ).

+ Bắt buộc sử dụng hệ thống chữa cháy bằng khí sạch (Clean Agent) và phát hiện khói siêu nhạy (VESDA).

+ Các tuyến cáp điện và dữ liệu chính/dự phòng phải được tách biệt vật lý tối thiểu 10 mét và nằm trong các trục kỹ thuật được thiết kế là khoang cháy độc lập để loại bỏ điểm lỗi đơn.

Bảng 3. Tổng hợp bộ Tiêu chí Kỹ thuật chuyên biệt cho công trình hàng không cốt lõi

Hạng mục	Nhà ga hành khách	Đài KSKL (ATC Tower)	Trung tâm KSKL (ACC)	Căn cứ & Luận giải
Phân loại công trình	CC3 (Hậu quả cao)	Cấp đặc biệt/CC3 (Sống còn)	Cấp đặc biệt/CNI (Liên tục hoạt động)	QCVN 03:2022/BXD
Hệ số tầm quan trọng	$\gamma_n \geq 1,1$ (Giò, động đất)	$\gamma_n \geq 1,2$; $\gamma_l \geq 1,25$	$\gamma_n \geq 1,2$; $\gamma_l \geq 1,25$	TCVN 2737/9386
Giới hạn chịu lửa	REI 120 phút	REI 120 phút	REI 150 phút	ICAO Annex 14
Hoạt tải sàn	≥ 5 kN/m (Khu vực chung)	≥ 10 kN/m ² (Khu vực kỹ thuật)	≥ 12 kN/m ² (Phòng máy chủ)	TCVN 2737 cập nhật
Kiểm soát rung động	≥ 10 Hz (fn)	$\leq 0,1$ mm/s RMS (Thiết bị)	$\leq 0,1$ mm/s RMS (Thiết bị)	Bảo vệ thiết bị nhạy cảm
Thiết kế kháng nổ	N/A	Khuyến nghị SRA	Bắt buộc (SRA/DBT, BTCT ≥ 40 MPa)	Bảo vệ CNI

Bảng 4. Sơ thảo đề xuất tham số điều chỉnh theo điều kiện Việt Nam (NDPs)

Hạng mục điều chỉnh	Tham số (NDP)	Cơ sở điều chỉnh	Căn cứ pháp lý/kỹ thuật
1. Tải trọng gió và bão	Tốc độ gió thiết kế (Vk)	Tần suất bão, gió mùa, và điều kiện địa hình đặc thù của Việt Nam.	TCVN 2737:2023; Điều kiện Khí hậu cận nhiệt đới.
	Hệ số tầm quan trọng (γ_n)	Công trình trọng yếu (ACC/ATCT) phải chống chịu bão có chu kỳ lập tối thiểu 100 năm.	$\gamma_n \geq 1,2$ cho ATC Tower và ACC.
2. Tác động động đất	Hệ số tầm quan trọng (γ_l); Phổ thiết kế (Sd (T))	Phân vùng địa chấn và yêu cầu tính liên tục hoạt động (ACC, ATCT).	TCVN 9386:2012; Yêu cầu $\gamma_l \geq 1,25$ cho công trình cấp I/đặc biệt.
3. Độ bền lâu (Durability)	Chiều dày lớp bảo vệ BT; Loại xi măng/phụ gia	Khí hậu nhiệt đới ẩm, nguy cơ xâm thực ion Cl ⁻ (ăn mòn) cao ở ven biển.	TCVN 5574:2018; Đối với môi trường xâm thực nặng, yêu cầu mác chịu nén $\geq B35$ và chiều dày lớp bảo vệ ≥ 40 mm.
4. Kiểm tra rung động	Ngưỡng vận tốc RMS	Yêu cầu nghiêm ngặt cho thiết bị nhạy cảm trong ACC/ATCT để đảm bảo vận hành liên tục.	Dự thảo TCVN (ACC ≤ 0.05 mm/s RMS); Khu vực thiết bị nhạy cảm ≤ 0.01 mm/s RMS.
5. Tính khả thi và kinh tế	Chi phí/Công nghệ NDT	Cân bằng giữa yêu cầu kỹ thuật cao và khả năng tài chính/năng lực kỹ thuật của các cảng hàng không địa phương.	Đánh giá khả thi kinh tế; Nguyên tắc cân bằng giữa an toàn lý tưởng và nguồn lực quốc gia.

5. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra một cách rõ ràng sự cấp thiết phải chuyển đổi từ triết lý quản lý an toàn bị động, dựa trên tuân thủ quy tắc, sang một mô hình chủ động, dựa trên hiệu suất và quản lý rủi ro phù hợp với xu thế quốc tế trong quản lý an toàn hạ tầng hàng không. Việc xây dựng và ban hành một bộ TCVN chuyên ngành không chỉ giúp khắc phục khoảng trống kỹ thuật và pháp lý lâu nay, mà còn là bước đi có tính chiến lược nhằm nâng cao năng lực quản lý, tăng sức cạnh tranh và thúc đẩy hội nhập quốc tế của ngành hàng không Việt Nam. Tuy nhiên, việc áp dụng thành công khung tiêu chuẩn mới này phải đối mặt với những thách thức mang tính hệ thống. Thách thức lớn nhất không nằm ở công nghệ mà là ở nguồn nhân lực. Hiện tại, chỉ khoảng 30% nhân sự đạt trình độ chuyên môn quốc tế, và thời lượng đào tạo trung bình chỉ đạt 5 ngày/năm/người, thấp hơn nhiều so với khuyến nghị 15 ngày/năm của quốc tế. Nếu không có một chiến lược phát triển nguồn nhân lực đồng bộ, TCVN mới dù được ban hành cũng khó có thể được áp dụng một cách hiệu quả.

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu khẳng định tính cấp thiết của việc xây dựng một bộ TCVN chuyên biệt về đánh giá an toàn kết cấu công trình hàng không nhằm đáp ứng tốc độ phát triển vũ bão của ngành. Các kết luận và kiến nghị chính bao gồm:

Nghiên cứu khẳng định tính cấp thiết của việc xây dựng một bộ TCVN chuyên biệt về đánh giá an toàn kết cấu công trình hàng không nhằm đáp ứng tốc độ phát triển mạnh mẽ của ngành. Các kết luận và kiến nghị chính có thể tóm lược như sau:

1. Phải khắc phục ngay khoảng trống kỹ thuật cốt lõi: Cần luật hóa các ngưỡng an toàn theo tiêu chuẩn quốc tế, như nâng giới hạn chịu lửa của nhà ga lên tối thiểu 120 phút và áp dụng các hệ số tầm quan trọng cao cho các công trình trọng yếu như ATC Tower.

2. Phải chuyển đổi triết lý quản lý: Tiêu chuẩn mới cần được xây dựng trên nền tảng phương pháp luận Đánh giá dựa trên Hiệu suất (PBA) và Quản lý Rủi ro, chuẩn hóa việc áp dụng công nghệ NDT và SHM để chuyển từ bảo trì khắc phục sang bảo trì dự báo.

3. Phải ưu tiên phát triển nguồn nhân lực: Thách thức lớn nhất là con người. Lộ trình quốc gia cần đặt nhiệm vụ đào tạo và phát triển đội ngũ chuyên gia làm trọng tâm trong giai đoạn đầu tiên, đảm bảo năng lực thực thi tiêu chuẩn mới được ban hành.

Việc xây dựng và áp dụng thành công bộ tiêu chuẩn này sẽ là một bước đột phá, góp phần đảm bảo sự phát triển an toàn, hiệu quả và bền vững cho ngành Hàng không Việt Nam trong giai đoạn phát triển mới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Chính phủ Việt Nam (2021). Nghị định số 06/2021/NĐ-CP - Quy định chi tiết một số nội dung về quản lý chất lượng, thi công xây dựng và bảo trì công trình xây dựng. Truy cập tại: <https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Xay-dung-Do-thi/Nghi-dinh-06-2021-ND-CP-quan-ly-chat-luong-thi-cong-xay-dung-bao-tri-cong-trinh-462913.aspx>
- [2]. Bộ Giao thông vận tải (2021). Thông tư số 24/2021/TT-BGTVT: Quy định về quản lý, bảo trì công trình hàng không. Truy cập tại: <https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Giao-thong-Van-tai/Thong-tu-24-2021-TT-BGTVT-quy-dinh-ve-quan-ly-bao-tri-cong-trinh-hang-khong-486016.aspx>
- [3]. Chính phủ Việt Nam (2018). Nghị định số 44/2018/NĐ-CP: Quy định việc quản lý, sử dụng và khai thác tài sản kết cấu hạ tầng hàng không. Truy cập tại: <https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Giao-thong-Van-tai/Nghi-dinh-44-2018-ND-CP-quan-ly-su-dung-va-khai-thac-tai-san-ket-cau-ha-tang-hang-khong-382042.aspx>
- [4]. Bộ Xây dựng (2021). Thông tư số 10/2021/TT-BXD: Hướng dẫn một số điều và biện pháp thi hành Nghị định số 06/2021/NĐ-CP. Truy cập tại: <https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Xay-dung-Do-thi/Thong-tu-10-2021-TT-BXD-huong-dan-Nghi-dinh-06-2021-ND-CP-Nghi-dinh-44-2018-ND-CP-488107.aspx>
- [5]. Bộ Xây dựng (2019). Thông tư số 04/2019/TT-BXD: Sửa đổi, bổ sung một số nội dung của

Thông tư số 26/2016/TT-BXD. Truy cập tại: <https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Xay-dung-Do-thi/Thong-tu-04-2019-TT-BXD-sua-doi-Thong-tu-26-2016-TT-BXD-quan-ly-chat-luong-bao-tri-cong-trinh-389653.aspx>

[6]. Bộ Xây dựng (2022). QCVN 03:2022/BXD: Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về Phân cấp công trình phục vụ thiết kế xây dựng. Truy cập tại: <https://moc.gov.vn/pages/chi-tiet-van-ban-phap-quy.aspx?vbid=2363>

[7]. Bộ Xây dựng (2022). QCVN 06:2022/BXD - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn cháy cho nhà và công trình. Truy cập tại: <https://moc.gov.vn/pages/chi-tiet.aspx?tintucId=52123>

[8]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2023). TCVN 2737:2023 - Tải trọng và tác động.

[9]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2018). TCVN 5574:2018 - Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế. Truy cập tại: <https://thuvienphapluat.vn/TCVN/TCVN-5574-2018-Ket-cau-be-tong-va-be-tong-cot-thep-Tieu-chuan-thiet-ke-120970.aspx>

[10]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2012). TCVN 5575:2012 - Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế. Truy cập tại: <https://thuvienphapluat.vn/TCVN/TCVN-5575-2012-Ket-cau-thep-Tieu-chuan-thiet-ke-114950.aspx>

[11]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2012). TCVN 9381:2012 - Hướng dẫn đánh giá mức độ nguy hiểm của kết cấu nhà. Truy cập tại: <https://thuvienphapluat.vn/TCVN/TCVN-9381-2012-Huong-dan-danh-gia-muc-do-nguy-hiem-cua-ket-cau-nha-114945.aspx>

[12]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2012). TCVN 9386:2012 - Thiết kế công trình chịu động đất. Truy cập tại: <https://thuvienphapluat.vn/TCVN/TCVN-9386-2012-Thiet-ke-cong-trinh-chiu-dong-dat-32328.aspx>

[13]. Bộ Khoa học và Công nghệ (1995). TCVN 2622:1995 - Phòng cháy, chống cháy cho nhà và công trình - Yêu cầu thiết kế.

[14]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2020). TCVN 12251:2020 - Bảo vệ chống ăn mòn cho kết cấu bê tông và bê tông cốt thép trong công trình xây dựng - Nguyên tắc chung. Truy cập tại: <https://thuvienphapluat.vn/TCVN/TCVN-12251-2020-Bao-ve-chong-an-mon-ket-cau-be-tong-va-be-tong-cot-thep-cong-trinh-xay-dung-153723.aspx>

[15]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2011). TCVN 8753:2011 - Sân bay dân dụng - Yêu cầu chung về thiết kế và khai thác.

[16]. International Civil Aviation Organization (ICAO). Annex 14 - Aerodromes, Volume I - Aerodrome Design and Operations. Truy cập tại: <https://store.icao.int/en/annex-14-aerodromes-volume-i-aerodrome-design-and-operations>

[17]. International Civil Aviation Organization (ICAO). Annex 10 - Aeronautical Telecommunications. Truy cập tại: <https://store.icao.int/en/annexes/annex-10>

[18]. International Civil Aviation Organization (ICAO). Annex 19 - Safety Management. Truy cập tại: <https://store.icao.int/en/annex-19-safety-management>

[19]. International Civil Aviation Organization (ICAO). Doc 9137 - Airport Services Manual, Part 1 - Rescue and Fire Fighting. Truy cập tại: <https://store.icao.int/en/airport-services-manual-part-1-rescue-and-firefighting-doc-9137p1>

[20]. Federal Aviation Administration (FAA). Advisory Circulars (AC) Series. Truy cập tại: https://www.faa.gov/airports/resources/advisory_circulars/

[21]. European Committee for Standardization (CEN). Eurocodes: Building the future (EN 1990-1998). Truy cập tại: <https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/>

[22]. National Fire Protection Association (NFPA) (2020). NFPA 75 - Standard for the Protection of Information Technology Equipment. Truy cập tại: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=75>

[23]. Telecommunications Industry Association (TIA) (2017). TIA-942-B: Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers.

[24]. International Organization for Standardization (ISO) (2003). ISO 2631-2:2003 - Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz). Truy cập tại: <https://www.iso.org/standard/34375.html>

[25]. Uptime Institute (2012). Data Center Site Infrastructure Tier Standard: Topology.

[26]. ASTM International (2015). ASTM C876 - 15 - Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. Truy cập tại: <https://www.astm.org/C0876-15.html>