

Nghiên cứu phương pháp đánh giá sự suy giảm cường độ và giải pháp xử lý nền móng mặt đường cứng sân bay trong điều kiện bất lợi ở Việt Nam

Overview study about method for evaluate the decrease of strength and treatment solutions for base, subbase and subgrade of airport rigid pavement under adverse conditions in Vietnam

> THS.NCS NGÔ VĂN QUÂN^{1,*}, GS.TS PHẠM HUY KHANG², PGS.TS NGUYỄN TRỌNG HIỆP², THS.NCS NGÔ VĂN TÌNH³

^{1,3}Học viện Hàng không Việt Nam

⁽²⁾Trường Đại học Giao thông vận tải; *Email: quannv@vaa.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu tổng quan về nền móng mặt đường cứng sân bay, cho thấy dưới tác dụng của tải trọng tàu bay và các điều kiện bất lợi tại Cảng hàng không (CHK), sân bay đã gây ra các hư hỏng cấu trúc của mặt đường cứng sân bay, làm suy giảm cường độ của toàn kết cấu. Điều này, đòi hỏi có nghiên cứu về các phương pháp đánh giá sự suy giảm cường độ và giải pháp xử lý nền móng mặt đường cứng sân bay trong điều kiện bất lợi ở Việt Nam.

Từ khóa: Móng; móng dưới; nền đường; mặt đường cứng sân bay.

ABSTRACT

The article provides an overview study about base, subbase and subgrade of airport rigid pavements, showing that under the effect of aircraft load and adverse conditions at airports, causes structural damage to the airport rigid pavement, causing the decrease of strength of the pavement structure. This problem requires research about methods to evaluate the decrease of strength and treatment solutions for base, subbase and subgrade of airport rigid pavements under adverse conditions in Vietnam.

Keywords: Base; subbase; subgrade; airport rigid pavement.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Kết cấu mặt đường cứng sân bay thường được thiết kế có tuổi thọ với cường độ và sức chịu tải nhất định. Dưới tác động lâu dài của tải trọng tàu bay, trong nền móng sẽ tích lũy biến dạng dư, gây ra

ứng suất tập trung trong nền móng; ảnh hưởng đến sự ổn định, mất dần khả năng chịu lực và làm suy giảm tuổi thọ của mặt đường [1].

Mặt đường cứng tại các CHK, sân bay ở Việt Nam, hầu hết chịu ảnh hưởng của chế độ thủy nhiệt bất lợi, gây ra các hư hỏng thường bắt đầu từ nền móng. Với lưu vực lớn, thoát nước mặt không tốt, nền thấp sẽ tạo điều kiện cho nước thấm vào nền móng làm tăng độ ẩm, thậm chí dẫn đến bão hòa nền đất bên dưới, làm suy giảm khả năng chịu lực của nền móng, ảnh hưởng nghiêm trọng đến các lớp phía trên của mặt đường.

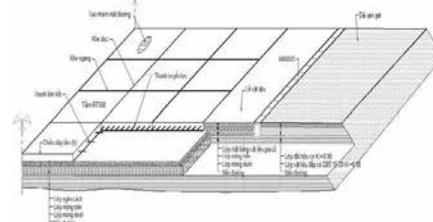
Ở nước ta, ngoài CHK Vân Đồn mới được xây dựng thì nhiều kết cấu mặt đường cứng sân bay đã xuống cấp, tiềm ẩn nhiều nguy cơ mất an toàn hàng không [2]; cần thiết có những nghiên cứu về nền móng mặt đường cứng sân bay, phương pháp đánh giá sự suy giảm cường độ và giải pháp xử lý nền móng mặt đường cứng sân bay trong điều kiện bất lợi ở Việt Nam, góp phần nâng cao tuổi thọ kết cấu mặt đường, đảm bảo an toàn trong khai thác CHK.

2. TỔNG QUAN VỀ NỀN MÓNG MẶT ĐƯỜNG CỨNG SÂN BAY

2.1. Kết cấu nền móng mặt đường cứng sân bay

Theo tiêu chuẩn TCVN 10907:2015 [3] và TCCS 39: 2022/TCĐBVN [4], mặt đường cứng sân bay thông thường có kết cấu như Hình 1 bao gồm:

• Lớp trên còn gọi là “mặt đường” thường làm bằng BTXM có kích thước hữu hạn, liên kết với nhau bằng các khe nối, để tránh nứt vỡ tẩm do ứng suất nhiệt của môi trường [4].



Hình 1. Kết cấu nền móng mặt đường cứng sân bay [4]

• Lớp phân cách: thường bố trí giữa các lớp mặt đường hoặc giữa tầng mặt với tầng móng; có vai trò tạo phẳng, đảm bảo tấm BTXM có thể di chuyển tự do với lớp móng khi có thay đổi về nhiệt độ gây co giãn tấm và triệt tiêu lực ma sát.

• Lớp móng: có lớp móng trên (Road base) và lớp móng dưới (Sub-base). Lớp móng trên thường làm bằng bê tông nghèo hoặc bằng cát - đá gia cố xi măng. Lớp móng dưới chỉ bố trí khi quy mô giao thông lớn và thường bằng cấp phối đá dăm gia cố xi măng.

• Lớp đáy móng: tạo một lòng đường chịu lực đồng nhất, có sức chịu tải tốt; ngăn chặn ẩm thấm từ trên xuống nền đất và từ dưới lên lớp móng; tạo “hiệu ứng đe” để bảo đảm chất lượng đầm nén các lớp móng phía trên; tạo điều kiện cho xe máy thi công đi lại.

• Lớp nền đất trên cùng hay lớp nền thượng (Subgrade): là phần nền đường trong phạm vi 80 cm - 100 cm, kể từ đáy lớp móng dưới trở xuống. Đây là khu vực tác dụng của nền đường, tham gia chịu tác dụng của tải trọng tàu bay.

• Khe nối: được bố trí các loại khe co (khe dọc và khe ngang) và khe dãn, để giảm thiểu ảnh hưởng của ứng suất nhiệt xuất hiện trong tấm BTXM. Với khe dọc, có bố trí các thanh liên kết để giữ các tấm khít lại nhau; với khe ngang, có bố trí các thanh truyền lực, đảm bảo khả năng truyền lực giữa các tấm.

2.2. Thông số đánh giá sức chịu tải của mặt đường cứng sân bay

Sức chịu tải mặt đường cứng sân bay được xác định theo phương pháp chỉ số phân cấp tàu bay - chỉ số phân cấp mặt đường (ACN-PCN) [5] hay (ACR-PCR) áp dụng từ ngày 28/11/2024 [6]. Trong đó, ACN (ACR) là chỉ số biểu thị tác động tương đối của tàu bay lên mặt đường tương ứng với một cấp nền móng tiêu chuẩn, PCN (PCR) là chỉ số biểu thị khả năng chịu lực của mặt đường sân bay khi tàu bay hoạt động.

Thông số đánh giá sức chịu tải PCN của mặt đường cứng sân bay được thông báo dưới dạng tổ hợp mã hóa gồm 5 số và chữ cái như *Bảng 1*, biểu thị các thông tin sau: “Giá trị bằng số của PCN(PCR)/Loại mặt đường sân bay/cấp độ chịu lực của nền đường/áp suất bánh hơi tàu bay cho phép/Phương pháp xác định PCN (PCR)”.

Bảng 1. Thông số sức chịu tải PCN tại CHK Quốc tế Tân Sơn Nhất [2]

Thông số sức chịu tải PCN mặt đường cứng tại CHK Quốc tế Tân Sơn Nhất, đường CHC 25R/07L (3,050m x 45,72m):	PCN: 90/R/B/W/T
Thông số sức chịu tải PCN mặt đường cứng tại CHK Quốc tế Tân Sơn Nhất, đường CHC 25L/07R (3,828m x 45m):	PCN: 63/R/B/X/T

Giá trị bằng số của PCN xác định theo phương pháp kỹ thuật hoặc phương pháp sử dụng kinh nghiệm tàu bay khai thác [5]. Tùy từng phương pháp, khi có đặc trưng vật liệu như mô đun đàn hồi E của các lớp kết cấu mặt và móng, hệ số nền k hoặc CBR (California Bearing Ratio) hoàn toàn tính toán được trị số PCN [7].

3. CÁC DẠNG HƯ HỒNG CỦA KẾT CẤU MẶT ĐƯỜNG CỨNG SÂN BAY

Các dạng hư hỏng của kết cấu mặt đường cứng sân bay [8], bao gồm:

**Vết nứt (dọc - ngang - chéo)*: tấm BTXM bị chia thành 2 hoặc 3 mảnh; do sức chịu tải không đủ, điều kiện nền móng bị hư hỏng; làm độ bằng phẳng bị giảm sút, vật liệu bị bong bật, gây thấm nước vào kết cấu mặt đường, làm giảm sức chịu tải của tấm BTXM.

**Vết nứt ở góc - gãy ở góc*: tấm BTXM bị gãy làm 2 mảnh, tại chỗ giao nhau của vết nứt với mép tấm; do nền móng không tốt, khả năng truyền lực kém, sụt cục bộ, độ bằng phẳng bị giảm, vật liệu bị bong bật dẫn đến thấm nước vào kết cấu mặt đường.

**Sự phá hủy do giãn nở*: mép của tấm BTXM bị phá hủy tại các khe nối hoặc vết nứt ngang; do độ rộng khe không đủ cho tấm BTXM giãn nở nhiệt, vật liệu cứng thâm nhập vào khe nối hoặc vết nứt ngang; tạo thành bậc thang, đứt gãy tấm, nước ngấm xuống làm yếu nền, các điều kiện hoạt động của tấm thay đổi, dẫn tới sức chịu tải giảm sút.

**Dập*: tấm BTXM có thể bị đứt thành hơn 4 mảnh, các vết nứt theo chiều dọc, ngang, chéo; do sức chịu tải của tấm không đủ, nền móng bị hư hỏng làm thấm nước vào kết cấu mặt đường, các điều kiện hoạt động của tấm bị thay đổi, sụt cục bộ, vật liệu bị bong bật, độ bằng phẳng giảm sút, độ kết dính yếu.

**Phù bùn*: mặt đường BTXM có tình trạng các hạt mịn phun trào lên trên mặt đường qua các khe hoặc các vết nứt; nguyên nhân do nền móng yếu khi bị bão hòa nước; các tấm bị bập bênh dưới tác động của tải trọng, nước ở bên dưới chịu áp lực trên bề mặt tiếp giáp giữa tấm và móng bị đẩy lên mang theo các hạt mịn phun trào lên trên bề mặt, làm cho khả năng truyền lực giữa các tấm không tốt.

**Cập kênh - Bậc*: là sự chênh lệch cao trình giữa 2 tấm kế tiếp ở 2 mép của vết nứt; do có thể có hiện tượng phù bùn, vi lún của đất nền, mất thành phần hạt mịn, đất trương nở, kết cấu không đồng đều của vật liệu các lớp móng; từ đó làm mất khả năng truyền lực giữa các tấm, độ bằng phẳng, độ dính bám suy giảm, điều kiện hoạt động của tấm thay đổi.

Các trường hợp hư hỏng cấu trúc kể trên, đều có liên quan ít hay nhiều tới tình trạng của nền móng mặt đường cứng sân bay, trong đó hư hỏng liên quan tới hiện tượng “phù bùn” và “cập kênh - bậc” như *Hình 2* là hai trường hợp liên quan chủ yếu đến mặt đường cứng sân bay trong điều kiện bất lợi ở Việt Nam là tình trạng nền móng bị bão hòa nước [9].



Hư hỏng dạng “phù bùn” *Hư hỏng dạng “Cập kênh - Bậc”*
Hình 2. Dạng hư hỏng cấu trúc của mặt đường cứng sân bay [2]

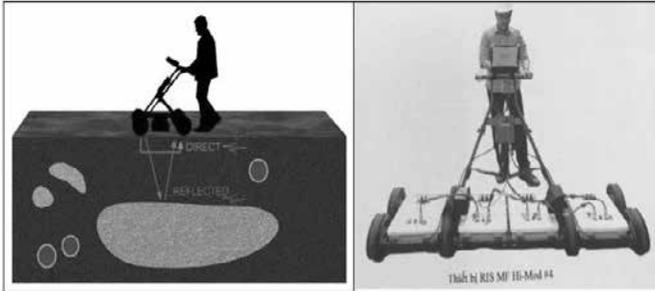
4. CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ SỰ SUY GIẢM CƯỜNG ĐỘ CỦA NỀN MÓNG MẶT ĐƯỜNG CỨNG SÂN BAY

Hiện nay, để đánh giá sự suy giảm cường độ của nền móng mặt đường cứng sân bay có 02 phương pháp chính là phương pháp phá hủy và phương pháp không phá hủy (NDT - Non-Destructive Testing).

Với phương pháp phá hủy, việc đánh giá thực hiện thông qua việc lấy mẫu và thực hiện các thử nghiệm phá hủy trên mẫu, từ đó đưa ra các phân tích, đánh giá và kết luận [9]. Phương pháp phá hủy có ưu điểm cung cấp kết quả chính xác và phản ánh tình trạng thực tế của mẫu, tuy nhiên thường tốn kém, yêu cầu thiết bị chuyên dụng và kỹ thuật viên có kinh nghiệm dẫn đến chi phí cao và phức tạp, việc khoan lấy mẫu cũng có thể gây ra những hư hỏng cục bộ cho nền móng mặt đường.

Phương pháp NDT là kỹ thuật đánh giá tình trạng và cường độ của nền móng mặt đường cứng sân bay mà không gây hư hỏng hoặc thay đổi cấu trúc của vật liệu; các phương pháp NDT phổ biến là radar xuyên đất (GPR - Ground Penetrating Radar) như *Hình 3*, thí nghiệm siêu âm (Ultrasonic Testing), thí nghiệm phản xạ bề mặt

(Surface Wave Testing), thí nghiệm phản hồi rung động (Resonance Testing). Phương pháp NDT có thể cung cấp thông tin chi tiết về cấu trúc bên trong và phát hiện sớm các khuyết tật, dự đoán các tình huống bất lợi của nền móng, quy trình thực hiện nhanh chóng, giảm thiểu thời gian gián đoạn khai thác.



Hình 3. Phương pháp NDT sử dụng thiết bị GPR [10]

Trong điều kiện hoạt động thường xuyên và liên tục tại các CHK, sân bay ở Việt Nam, khi đánh giá sự suy giảm cường độ của nền móng mặt đường cứng sân bay, xem xét lựa chọn 02 phương pháp NDT là GPR [10] và phương pháp NDT bằng các thiết bị HWD, SHWD [11] như Hình 4.



Hình 4. Phương pháp NDT sử dụng thiết bị HWD [9]

5. CÁC GIẢI PHÁP XỬ LÝ NỀN MÓNG MẶT ĐƯỜNG CỨNG SÂN BAY

Giải pháp trước tiên và phổ biến nhất để đảm bảo duy trì cường độ của nền móng mặt đường cứng sân bay là hạn chế nước xâm nhập trên mặt đường, xây dựng hệ thống rãnh ngấm hoặc áp dụng phương pháp hạ thấp mực nước ngầm để đảm bảo khả năng thoát nước của nền móng [9].

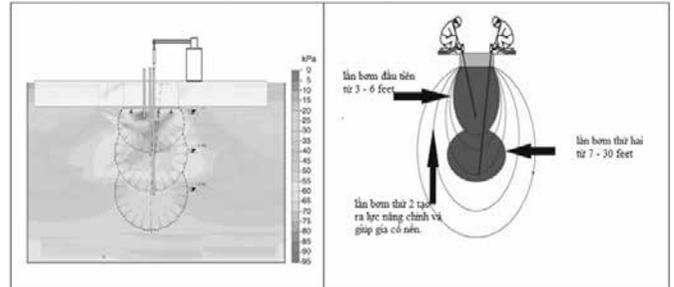
Trường hợp các tấm BTXM bị hư hỏng nặng, giải pháp xử lý tấm phải được đặt ra, thường có 2 giải pháp sau: (1) Phá dỡ tấm BTXM xuống cấp và thay thế bằng tấm mới, xử lý lại nền móng phía dưới cho tốt, giải pháp này thường khó khả thi đối với các CHK, sân bay bởi điều kiện khai thác liên tục và chi phí khá tốn kém; (2) Giải pháp xử lý gia cường nền móng bên dưới, đây là giải pháp tích cực, khá hiệu quả với thời gian thi công nhanh, được sử dụng ở nhiều nước trên thế giới như Mỹ, Canada...[9]; ở Việt Nam, công nghệ này bắt đầu được nghiên cứu áp dụng như giải pháp công nghệ phun vữa polymer gia cường nền móng và gia cố nền móng mặt đường cứng sân bay bằng phương pháp phun vữa silica siêu mịn.

5.1. Công nghệ gia cường nền móng mặt đường cứng sân bay bằng phương pháp phun vữa polymer

Bản chất của phương pháp phun vữa polymer là gia cường nền móng mặt đường cứng sân bay bị suy giảm cường độ bằng cách tiến hành bơm một lượng vữa 2 thành phần polyurethane vào trong nền móng, thông qua các lỗ khoan trên tấm BTXM có đường kính 12 mm hoặc 16 mm, được bố trí theo dạng lưới hình vuông hoặc hình tam giác cách nhau từ 1 đến 2 m. Sau khi bơm khoảng 20-30 giây, vữa polymer trương nở thể tích lên hàng 30 lần, tạo nên xốp chèn ép đất, đẩy nước ra ngoài. Xốp và đất được nén chặt, cùng chịu

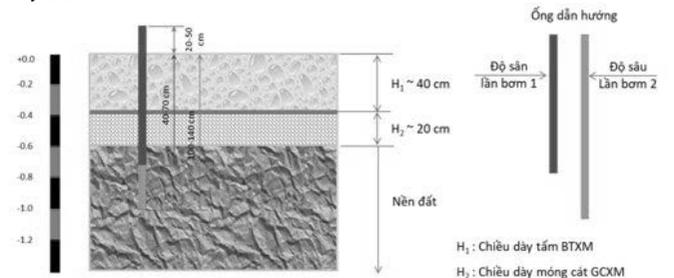
lực với nền móng tạo nên một nền móng ổn định cho mặt đường cứng sân bay như Hình 5 [12-15].

Trên thế giới, công nghệ này thường sử dụng bằng vật liệu như Uretek, khi được bơm vữa xuống nền móng, khối lượng của vật liệu tăng theo tỷ lệ 20:1, thể tích vật liệu có thể trương nở đến 30 lần, tạo ra áp suất khoảng 50 tấn/m² - 170 tấn/m². Trong vòng 15 phút sau khi bơm, thì vữa Uretek có thể đạt 90% cường độ và có thể cho các phương tiện lưu thông trên mặt đường [12-13].



Hình 5. Gia cố nền móng mặt đường cứng sân bay bằng phương pháp phun vữa polyurethane [9]

Ở Việt Nam, có một số công trình và bài báo nghiên cứu về vật liệu vữa polymer như: nghiên cứu ứng dụng chống lún công trình bằng công nghệ bơm vữa polymer [16], phương pháp gia cố nền và nâng sàn bằng vữa polymer Uretek [17], nghiên cứu bước đầu về phương pháp phun vữa xi măng polymer để xử lý nền móng sân bay tại CHK Quốc tế Nội Bài [18], nghiên cứu sử dụng nhựa hai thành phần Penopolyurethane trong sửa chữa và nâng cấp đường cất hạ cánh, đường lăn sân bay [19]. Đặc biệt, nghiên cứu thử nghiệm tiến hành tại CHK Quốc tế Nội Bài như Hình 6, với việc sử dụng vữa polymer xử lý trên 2 tấm BTXM (25 m²) đã cho thấy công nghệ bơm vữa polymer là công nghệ tiên tiến, một giải pháp phù hợp để gia cường nền móng mặt đường cứng sân bay, trong điều kiện cần thi công nhanh, vừa sửa chữa vừa khai thác tại các CHK, sân bay [9].



Hình 6. Phương án phun vữa polymer xử lý nền móng tại CHK Quốc tế Nội Bài [9]

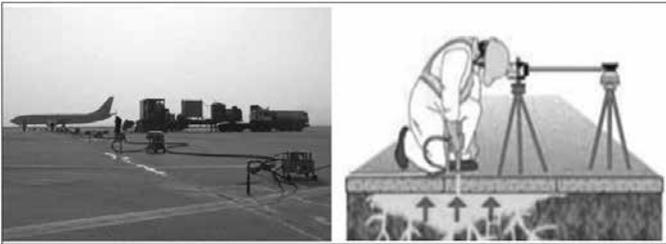
5.2. Công nghệ gia cường nền móng mặt đường cứng sân bay bằng phương pháp phun vữa Silica siêu mịn

Silica fume là bột mịn thu được từ việc khử thạch anh độ sạch cao bằng than trong lò điện hay lò cao ở nhiệt độ trên 2000°C trong quá trình sản xuất ra silicon hay hợp kim silicon sắt. Silica fume có tác dụng hoá học, tạo ra liên kết chặt chẽ hơn với cốt liệu, làm tăng cường độ tổng thể và độ bền vững cao cho bê tông. Silica fume

cứng đóng vai trò là chất kết dính vật lý, độ siêu mịn cho phép nó lấp đầy các lỗ rỗng vi mô giữa các hạt xi măng, từ đó làm giảm mạnh khả năng thấm nước và tăng mạnh liên kết giữa cốt liệu với hồ xi măng.

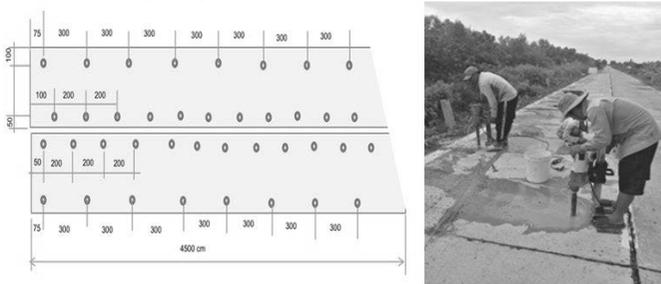
Công nghệ phun vữa silica siêu mịn đã phát triển ở nhiều quốc gia trên thế giới như Nhật Bản, Hàn Quốc, Na Uy, Canada, Pháp, Nga và Trung Quốc với ý tưởng sử dụng hệ thống bơm phun nhiều lần vữa silica hạt siêu mịn (độ mịn 13,000 cm²/g) bằng một thiết bị loại nhỏ nhằm thẩm thấu, nén ép, điền đầy vữa vào các kẽ nứt như Hình 7, từ đó cải thiện độ bền, gia cường cho nền móng hoặc nâng tấm BTXM lên bằng với cao độ ban đầu nhờ áp lực tạo ra dưới đáy tấm và lấp đầy khe hở bên dưới bằng vữa silica.

Công nghệ này có thể áp dụng để gia cường nền móng mặt đường cứng sân bay, giúp cải thiện sức chịu tải của nền móng, có thể phun tại nhiều điểm dễ dàng, nhanh chóng, thi công trong không gian hẹp, không làm tổn hại đến công trình đang sử dụng.



Hình 7. Gia cố nền móng mặt đường cứng sân bay bằng công nghệ phun vữa silica siêu mịn [9]

Tại Việt Nam, công nghệ này được thử nghiệm cho một đoạn đường BTXM dài 200 mét, bị sụt lún nghiêm trọng, nằm trên tuyến đề thuộc địa bàn huyện Trấn Văn Thời, tỉnh Cà Mau năm 2021 do chuyên gia (Yoon) và công ty VICT thực hiện như Hình 8 [20]. Kết quả bước đầu rất khả quan và khẳng định công nghệ có tính ứng dụng để phát triển hướng nghiên cứu trong xử lý gia cường nền móng của mặt đường cứng sân bay ở Việt Nam.



Hình 8. Mặt bằng thi công và thử nghiệm công nghệ phun vữa silica siêu mịn tại Cà Mau [20]

6. KẾT LUẬN

Kết cấu mặt đường cứng sân bay dưới sự tác động liên tục của tải trọng tàu bay và điều kiện chế độ thủy nhiệt bất lợi sẽ tạo ra các dạng hư hỏng cấu trúc của mặt đường, trong đó “phù bùn” và “cập kênh-bạc” là hai trường hợp hư hỏng liên quan chủ yếu đến mặt đường cứng sân bay trong điều kiện bất lợi ở Việt Nam khi nền móng bị bão hòa nước.

Để đảm bảo hoạt động khai thác tại các CHK, sân bay an toàn, nền móng mặt đường cứng sân bay phải được đánh giá sự suy giảm cường độ bằng các phương pháp phá hủy và phương pháp NDT. Trong điều kiện ở Việt Nam có thể xem xét, áp dụng phương pháp NDT như GPR hoặc NDT sử dụng thiết bị đo HWD, SHWD.

Khi nền móng mặt đường cứng sân bay tại CHK bị suy giảm cường độ, cần có giải pháp xử lý nền móng như giải pháp công nghệ như phun vữa polymer gia cường nền móng mặt đường cứng sân

bay hay gia cố nền móng mặt đường cứng sân bay bằng phương pháp phun vữa silica siêu mịn.

Với giải pháp phun vữa polymer có thể nghiên cứu áp dụng trong trường hợp nền móng mặt đường cứng sân bay bị bão hòa nước ở mức độ cao, cần xử lý để giảm tối đa lượng nước, giúp tăng khả năng chịu lực của nền móng; với giải pháp phun vữa silica siêu mịn có thể nghiên cứu áp dụng khi mức độ nền móng ngập nước ít, chủ yếu do tích lũy biến dạng dư trong móng gây mất ổn định của tấm BTXM, phương pháp này có thể tiết kiệm chi phí khi tận dụng vật liệu trong nước.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Phạm Huy Khang, *Mặt đường sân bay theo quan điểm hiện đại*, NXB Xây dựng, Hà Nội, Việt Nam (2017).
- [2]. Theo các số liệu báo cáo của Cục Hàng không Việt Nam.
- [3]. TCVN 10907:2015, *Sân bay dân dụng - Mặt đường sân bay - Yêu cầu thiết kế* (2015).
- [4]. TCCS 39: 2022/TCĐBVN, *Thiết kế mặt đường bê tông xi măng thông thường có khe nổi trong xây dựng công trình giao thông*, Tổng cục Đường bộ Việt Nam (2022).
- [5]. TCVN 8753-2011, *Sân bay dân dụng yêu cầu chung về thiết kế và khai thác* (2011).
- [6]. Quyết định 1006/QĐ-CHK, *Ban hành tài liệu hướng dẫn các nội dung liên quan đến thiết kế, khai thác, bảo đảm an toàn khai thác tại sân bay*, Cục Hàng không Việt Nam (2023).
- [7]. TCVN 11365:2016, *Mặt đường sân bay: Xác định số phân cấp mặt đường bằng thiết bị đo võng bằng quả nặng thả rơi* (2016).
- [8]. TCCS 06:2009/CHK, *Quy trình bảo dưỡng duy tu sân bay dân dụng Việt Nam*, Cục Hàng không Việt Nam (2009).
- [9]. Nguyễn Trọng Hiệp, Phạm Huy Khang, Nguyễn Văn Lập, Ngô Văn Quân, *Nghiên cứu giải pháp xử lý nền và móng mặt đường cứng sân bay khi bão hòa nước bằng công nghệ tiên tiến*, Tạp chí Giao thông vận tải, số Tháng 3/2022 (2022).
- [10]. Nguyễn Trọng Hiệp, Phạm Huy Khang, Trần Thị Thuý, Phạm Quang Thông, Hoàng Thanh Trung, *Application of georadar method for detecting base and subgrade distresses of rigid pavement at noibai international airport*, Science Journal of Transportation (2022).
- [11]. Nguyễn Thị Ngân, *Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ đến kết quả xác định một số thông số mặt đường bê tông xi măng sân bay bằng thiết bị gia tải động*, Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật, Đại học Xây dựng Hà Nội (2022).
- [12]. URETEK, *Uretek Ground Engineering*, URETEK Worldwide.
- [13]. URETEK, *The URETEK™ Advantage for Public and Private Infrastructures*, URETEK USA, Inc (2005).
- [14]. W. Ellis, *Assessment of Uretek Deep Injection Process*, Vermont Agency of Transportation, Research & Development Section, Initial Report (2015).
- [15]. Steven Soltesz, *Injected Polyurethane Slab Jacking*, Oregon Department of Transportation Research Group, Final Report (SPR 306-261) (2002).
- [16]. Trương Văn Tài (2012), *Nghiên cứu ứng dụng chống lún công trình bằng công nghệ bơm vữa polymer*, Tạp chí Sài Gòn Đầu tư & Xây dựng, số Tháng 9/2012 (2012).
- [17]. Đoàn Bình, Trương Văn Tài, *Phương pháp gia cố nền và nâng sàn bằng vữa polymer Uretek*, Tạp chí Sài Gòn Đầu tư & Xây dựng, số Tháng 9/2012 (2012).
- [18]. Lê Văn Tấn, *Nghiên cứu bước đầu về phương pháp phun vữa xi măng polime để xử lý nền mặt đường sân bay tại Cảng hàng không quốc tế Nội Bài*, Luận văn Thạc sĩ kỹ thuật, Đại học Giao thông vận tải (2022).
- [19]. Nguyễn Thị Hồng Diệp, *Nghiên cứu sử dụng nhựa hai thành phần Penopolyurethane trong sửa chữa và nâng cấp đường cất hạ cánh, đường lăn sân bay*, Tạp chí Cầu đường Việt Nam, số Tháng 4/2022 (2022).
- [20]. Báo cáo thực nghiệm của Công ty TNHH CS GEOTECH VINA, *Công nghệ phun silica và thực nghiệm tại Cà Mau* (2021).
- [21]. Báo Tiền phong, *“Đường băng sân bay Nội Bài toang hoác, trôi bùn: Có tiền không được sửa?”* tài địa chỉ: [https://tienphong.vn/duong-bang-san-bay-noi-bai-toang-hoac-troi-bun-co-tien-khong-duoc-sua-post1131873.tpo](https://tienphong.vn/duong-bang-san-bay-noi-bai-toang-hoac-troi-bun-co-tien-khong-duoc-sua?) (2019).