

Đánh giá khả năng sử dụng nguồn vật liệu san lấp tại vùng kinh tế trọng điểm phía Nam để thi công nền đường vùng trũng ven sông

Lê Anh Tuấn^{1*}, Nguyễn Vĩnh Bảo²

¹ Viện Quy hoạch xây dựng Miền Nam

² Viện Kiến trúc quốc gia Phân viện kiến trúc Miền Nam

TỪ KHOẢ

Vật liệu san lấp
Nền đường vùng trũng ven sông
Vùng kinh tế trọng điểm phía Nam
Tro bay nhiệt điện
Kinh tế tuần hoàn

TÓM TẮT

Quá trình sáp nhập địa giới hành chính các tỉnh phía Nam và định hướng phát triển hạ tầng quy mô lớn đã tạo nhu cầu cấp thiết về vật liệu san lấp, đặc biệt là cho nền đường tại vùng trũng ven sông ở vùng kinh tế trọng điểm phía Nam. Trong bối cảnh nguồn vật liệu truyền thống suy giảm, cấp phối đá dăm 0 ÷ 4,0 cm từ đá vôi ở các vùng đồi núi giáp Campuchia trở thành một giải pháp thay thế tiềm năng nhờ đặc tính cơ lý phù hợp và khả năng khai thác thuận lợi. Nghiên cứu đánh giá khả năng sử dụng vật liệu này kết hợp 10 ÷ 20% tro bay nhiệt điện Duyên Hải 1 nhằm cải thiện độ bền, khả năng chống thấm và giảm lún nền. Kết quả nghiên cứu cho thấy vật liệu phối trộn đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật đề ra, góp phần giảm chi phí, tận dụng phế thải công nghiệp và phù hợp với định hướng kinh tế tuần hoàn. Đồng thời, nghiên cứu nhấn mạnh tầm quan trọng của quản lý khai thác bền vững và việc ban hành tiêu chuẩn kỹ thuật riêng cho vật liệu địa phương, góp phần phát triển hạ tầng xanh, bền vững cho vùng kinh tế trọng điểm phía Nam.

KEYWORDS

Fill materials
Road subgrade in low-lying riverine areas
Southern Key Economic Region
Thermal power fly ash
Circular economy

ABSTRACT

The process of administrative boundary mergers in the southern provinces and the orientation toward large-scale infrastructure development have created an urgent demand for fill materials, especially for road subgrades in low-lying riverine areas of the Southern Key Economic Region. In the context of declining traditional materials, 0–4.0 cm crushed limestone from the mountainous areas bordering Cambodia has emerged as a promising alternative due to its suitable physical and mechanical properties and ease of extraction. This study evaluates the potential use of this material combined with 10–20% fly ash from the Duyen Hai 1 thermal power plant to improve strength, water resistance, and reduce settlement. The results indicate that the blended material meets the specified technical requirements, contributes to cost reduction, utilizes industrial waste, and aligns with the principles of a circular economy. At the same time, the study emphasizes the importance of sustainable extraction management and the establishment of local technical standards, contributing to green and sustainable infrastructure development in the Southern Key Economic Region.

1. Phần mở đầu

Trong giai đoạn hiện nay, Việt Nam đang thúc đẩy mạnh mẽ quá trình cải cách hành chính gắn liền với tái cơ cấu lãnh thổ, nhằm tối ưu hóa việc quản lý nhà nước, nâng cao hiệu quả phân bổ nguồn lực và tạo điều kiện thuận lợi cho phát triển kinh tế - xã hội bền vững. Trên cơ sở đó, việc sáp nhập các đơn vị hành chính cấp tỉnh, đã đánh dấu một bước ngoặt quan trọng trong chiến lược phát triển vùng kinh tế trọng điểm phía Nam [1]. Đây không chỉ là sự thay đổi về mặt tổ chức hành chính, mà còn mở ra một không gian phát triển mới, nơi mà tiềm năng tài nguyên, lợi thế vị trí địa lý và chiến lược phát triển kinh tế vùng được tích hợp để tạo ra sức mạnh cộng hưởng.



Hình 1. Bản đồ các tỉnh thuộc vùng kinh tế trọng điểm phía Nam.

*Liên hệ tác giả: kts.tuan8181@gmail.com

Nhận ngày 14/11/2025, sửa xong ngày 23/11/2025, chấp nhận đăng ngày 24/11/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.01.2026.1182>

Việc hợp nhất các địa bàn hành chính vốn có đặc điểm địa lý - kinh tế - xã hội khác biệt cùng với các yêu cầu phát triển kinh tế riêng, đã dẫn đến sự gia tăng đột biến về nhu cầu phát triển hạ tầng. Trong bối cảnh đó, các dự án hạ tầng quy mô lớn - từ mạng lưới giao thông liên tỉnh, liên huyện, hệ thống khu công nghiệp đến các khu đô thị vệ tinh trong khu vực - cần phải được triển khai nhanh chóng và đồng bộ [2]. Điều này tạo ra áp lực lớn đối với nguồn cung vật liệu xây dựng, đặc biệt là đá xây dựng, cát san lấp.

Trên thực tế, các nguồn vật liệu xây dựng truyền thống tại địa phương vốn đã có dấu hiệu suy giảm cả về trữ lượng lẫn chất lượng. Cát sông và đá khai thác từ các mỏ nhỏ lẻ khó có khả năng đáp ứng khối lượng lớn của các công trình trọng điểm. Hơn nữa, chi phí vận chuyển vật liệu từ các tỉnh lân cận sẽ làm đội giá thành xây dựng, ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả kinh tế và tiến độ thực hiện dự án [3]. Chính vì vậy, việc tìm kiếm và tận dụng nguồn vật liệu tại chỗ, đặc biệt là cấp phối đá dăm $0 \div 4,0$ cm từ đá vôi phân bố rộng ở các tỉnh phía Nam, kết hợp với một số phụ gia phù hợp, trở thành yêu cầu cấp thiết cho việc thi công nền đường vùng trũng ven sông. Đây là giải pháp vừa có tính khả thi, vừa mang lại ý nghĩa to lớn trong việc giảm chi phí, giảm ô nhiễm môi trường, rút ngắn tiến độ và đồng thời giảm áp lực lên các nguồn vật liệu đang dần khan hiếm.

Tuy nhiên, quá trình sử dụng đá dăm từ đá vôi cho lớp móng trên hoặc lớp đệm gia cố nền đường các công trình hạ tầng không chỉ dừng lại ở khả năng thay thế vật liệu truyền thống, mà còn gắn liền với hàng loạt vấn đề kỹ thuật, môi trường và quản lý. Đặc điểm cơ lý của đá dăm

kích thước $0 \div 4,0$ cm là vừa có ưu điểm về cường độ chịu tải cao, nhiều góc cạnh nên dễ liên kết và tăng ma sát giữa các hạt, nền đường có độ ổn định lớn [4]. Bên cạnh đó, đá dăm cũng tiềm ẩn một số nhược điểm, như: tính thấm nước cao, dễ bị ăn mòn và hòa tan trong môi trường axit hoặc chứa các ion ăn mòn, dễ phong hóa và rửa trôi khi ngập nước hoặc gặp mưa lớn mà tốc độ thoát chậm [5]. Nếu không có các nghiên cứu đánh giá chi tiết và giải pháp kỹ thuật phù hợp, việc khai thác và sử dụng đá vôi có thể gây ra nhiều hệ lụy, từ suy thoái môi trường đến nguy cơ mất an toàn công trình [6]. Vì vậy, trong nghiên cứu này đã đề xuất sử dụng cấp phối đá dăm $0 \div 4,0$ cm phối trộn với $(10 \div 20)$ % tro bay nhiệt điện Duyên Hải 1 để thu được hỗn hợp vật liệu san lấp, giúp cải thiện độ ổn định nền đường, tăng khả năng chống thấm nước và giảm lún nén cho lớp móng trên và móng dưới nền đường ven sông.

Trong bối cảnh đó, việc đánh giá nhu cầu, những rủi ro tiềm ẩn và giải pháp sử dụng vật liệu san lấp khi mở rộng địa bàn các tỉnh thuộc Vùng kinh tế trọng điểm phía Nam không chỉ mang ý nghĩa khoa học, mà còn có tính thực tiễn cao. Đây là bước đi quan trọng để có thể xây dựng một chiến lược khai thác và sử dụng vật liệu san lấp một cách bền vững, vừa đáp ứng yêu cầu hạ tầng ngày càng gia tăng, vừa giữ gìn cân bằng sinh thái và môi trường. Kết quả nghiên cứu sẽ cung cấp cơ sở dữ liệu quan trọng cho việc hoạch định chính sách phát triển hạ tầng giao thông - công nghiệp - đô thị, đồng thời khẳng định vai trò tiên phong của các tỉnh thuộc Vùng kinh tế trọng điểm phía Nam trong việc gắn kết mục tiêu phát triển kinh tế với định hướng phát triển xanh và bền vững.



a). Tro bay nhiệt điện Duyên Hải 1



b). Vật liệu san lấp từ đá dăm $0 \div 4,0$ cm và tro bay

Hình 2. Hệ thống nhào trộn hỗn hợp vật liệu san lấp từ đá vôi $0 \div 4,0$ cm và tro bay nhiệt điện.

2. Nhu cầu vật liệu san lấp khi mở rộng hạ tầng

Trong bối cảnh địa bàn hành chính mới hình thành, việc định hướng sử dụng vật liệu san lấp nền đường ven sông các tỉnh phía Nam là vấn đề cấp thiết trên nhiều phương diện:

- Kinh tế - kỹ thuật: đảm bảo nguồn cung vật liệu san lấp ổn định, chất lượng, phục vụ cho hàng loạt dự án hạ tầng giao thông và khu công nghiệp.

- Địa chất - tài nguyên: tận dụng hiệu quả nguồn vật liệu tại chỗ, đặc biệt là đá dăm từ đá vôi được phân bố nhiều tại các địa phương lân cận với TP. Hồ Chí Minh, thay thế một phần cát và vật liệu san lấp truyền thống.

- Môi trường - xã hội: hạn chế khai thác ồ ạt, giảm thiểu suy thoái tài nguyên và tác động tiêu cực đến sinh thái, đồng thời giảm chi phí vận chuyển vật liệu từ các tỉnh xa.

- Quản lý - chính sách: cần khung tiêu chuẩn kỹ thuật và cơ chế quản lý mới, phù hợp với thực tế của đơn vị hành chính hợp nhất, nhằm khai thác và sử dụng nguồn vật liệu bền vững.

Việc mở rộng hạ tầng sau khi hình thành đơn vị hành chính mới tạo ra một áp lực rõ ràng về nhu cầu vật liệu san lấp. Về khía cạnh kinh tế và kỹ thuật, câu hỏi cốt lõi không chỉ là khối lượng vật liệu có đủ hay không, mà còn liên quan đến chi phí thu hồi, chi phí vận chuyển, chi phí xử lý và chi phí bảo trì để tăng tuổi thọ công trình. Khi khoảng cách vận chuyển tăng, chi phí đơn vị cho mỗi mét khối vật liệu tăng theo hàm tuyến tính (trên thực tế còn tăng nhanh khi vận chuyển ra khỏi vùng khai thác thuận lợi) hoặc có nhu cầu đẩy nhanh tiến độ. Tuy nhiên, hiệu quả kinh tế này chỉ có ý nghĩa khi chất lượng vật liệu đạt yêu cầu kỹ thuật. Do vậy, mọi quyết định về sử dụng vật liệu tại chỗ cần gắn liền với đánh giá cơ lý toàn diện, mô phỏng hành vi công trình dưới tải trọng thực tế và phân tích vòng đời kinh tế để so sánh phương án “vật liệu tại chỗ kết hợp với xử lý kỹ thuật” với phương án “vật liệu nhập khẩu”.

Về khía cạnh địa chất và tài nguyên, đá dăm từ đá vôi tại các tỉnh Bình Dương, Tây Ninh, Đồng Nai có lợi thế là phân bố rộng và thường có kết cấu chặt, kích thước hạt đồng đều, bề mặt hạt nhiều góc cạnh giúp nâng cao khả năng chịu tải, cải thiện độ ổn định của nền đường so với đất phù sa và đất sét sỏi cuội [7]. Tuy nhiên, đặc tính này không bảo đảm cho mọi điều kiện sử dụng: sự hiện diện của phần mịn, mức độ phong hóa mặt và phản ứng với nước là các biến số quyết định tính chất của lớp đắp theo thời gian. Để quản lý rủi ro kỹ thuật, cần xây dựng bản đồ nguồn vật liệu theo không gian, xác định trữ lượng kinh tế (khả năng khai thác hiệu quả) và chất lượng theo từng lớp địa chất. Thông tin này sẽ là cơ sở cho mô hình cung-cầu dài hạn và các quyết định quy hoạch mỏ đá dăm, tránh khai thác cục bộ gây mất cân bằng tài nguyên.

Về mặt thiết kế nền đường, dữ liệu địa chất phải được chuyển trực tiếp vào các tham số thiết kế như thành phần hạt, độ chặt mục tiêu, độ ẩm tối ưu, độ đầm chặt CBR (California Bearing Ratio – một chỉ số khả năng chịu tải của đất hoặc vật liệu san lấp nền đường) dự báo và chỉ tiêu nén lún, từ đó xác định xem vật liệu tại chỗ có phù hợp trực tiếp hay cần xử lý ổn định.



Hình 3. Khai thác và chế tạo đá dăm 0 ÷ 4,0 cm tại xưởng sản xuất ở Tây Ninh.

Từ góc độ môi trường và xã hội, khai thác và sử dụng vật liệu san lấp không thể tách rời khỏi hệ sinh thái và đời sống cộng đồng. Hoạt động khai thác nếu không được quản lý tốt có thể sẽ phá vỡ cấu trúc địa hình, gây xói mòn, giảm khả năng giữ nước của lớp đất mặt và ảnh hưởng tới nguồn nước mặt thông qua việc tăng nồng độ chất rắn lơ lửng và quá trình bồi lắng. Những tác động này dẫn đến chi phí ngoại biên cao mà đôi khi không được phản ánh trong chi phí đầu tư ban đầu của dự án. Vì vậy, mọi kế hoạch sử dụng vật liệu phải được đi kèm với đánh giá tác động môi trường định hướng khu vực, kế hoạch phục hồi mặt bằng sau khai thác và cơ chế bồi thường/trợ cấp cho cộng đồng bị ảnh hưởng. Các biện pháp giảm nhẹ như khai thác theo bậc, giữ lại dải cây chắn, hệ thống chắn bùn và phục hồi cảnh quan theo giai đoạn phải được tích hợp ngay từ khâu phê duyệt mỏ.

Về quản lý và chính sách, lợi ích từ việc tận dụng nguồn vật liệu san lấp tại chỗ chỉ đạt được khi có khung thể chế phù hợp. Điều này đòi hỏi sự điều chỉnh chính sách ở nhiều cấp độ, từ quy định cấp phép khai thác, yêu cầu báo cáo trữ lượng và kế hoạch phục hồi, đến việc phát triển tiêu chuẩn kỹ thuật địa phương cho cấp phối đá dăm 0 ÷ 4,0 cm vừa tương thích với tiêu chuẩn Việt Nam, vừa linh hoạt để phản ánh điều kiện bản địa. Hệ thống đấu thầu và hợp đồng cũng nên khuyến khích sử dụng vật liệu được kiểm định và ổn định hóa tại chỗ bằng cơ chế ưu đãi về điểm kỹ thuật hoặc khuyến mãi kinh tế cho nhà thầu sử dụng giải pháp bền vững. Đồng thời, cần xây dựng năng lực kiểm định vật liệu và giám sát thi công tại các địa phương nhằm Đảm bảo chất lượng/ Kiểm soát chất lượng - tránh tình trạng tiêu chuẩn chỉ tồn tại trên giấy.

Về mặt thực hành triển khai, cần có một quy trình tích hợp: Bước đầu, tiến hành đánh giá nhu cầu chi tiết theo kịch bản phát triển hạ tầng. Bước tiếp theo, thực hiện khảo sát trữ lượng và chất lượng vật liệu với số lượng mẫu đủ mật độ và đáp ứng yêu cầu kỹ thuật. Sau đó, tiến hành thí nghiệm ổn định hóa, phối trộn với tỷ lệ phụ gia tối ưu và thí điểm công trình thực địa để kiểm chứng.

Để đáp ứng nhu cầu vật liệu san lấp trong giai đoạn mở rộng hạ tầng của các tỉnh thuộc Vùng kinh tế trọng điểm phía Nam cần áp dụng cách tiếp cận liên ngành, kết hợp đánh giá địa chất chi tiết, thiết kế kỹ thuật dựa trên dữ liệu, quản lý môi trường và cơ chế chính sách linh hoạt [2]. Chỉ khi các thành tố này được triển khai đồng bộ, việc tận dụng cấp phối đá dăm 0 ÷ 4,0 cm tại chỗ mới thực sự trở thành lựa chọn kinh tế - kỹ thuật - môi trường hợp lý và bền vững cho các địa phương nằm trong vùng kinh tế trọng điểm phía Nam.

Như vậy, nghiên cứu đánh giá khả năng sử dụng nguồn vật liệu san lấp tại vùng kinh tế trọng điểm phía Nam để thi công nền đường vùng trũng ven sông không chỉ mang ý nghĩa khoa học mà còn có giá trị thực tiễn cao, góp phần định hướng quản lý, quy hoạch vật liệu xây dựng và đảm bảo phát triển hạ tầng bền vững cho vùng kinh tế trọng điểm phía Nam trong giai đoạn tới.

Các tuyến đường liên tỉnh, đường nối trung tâm kinh tế, đường vành đai, các khu công nghiệp và hệ thống giao thông đô thị đều cần một khối lượng lớn vật liệu san lấp cho nền đường. Theo thống kê sơ bộ, nhu cầu vật liệu san lấp có thể tăng gấp 2 ÷ 3 lần trong giai đoạn

2025-2035, khi các địa bàn hành chính được mở rộng. Tuy nhiên, nguồn vật liệu truyền thống như cát và đất khai thác từ các mỏ hiện hữu đang suy giảm nhanh chóng, trong khi chi phí vận chuyển từ các tỉnh lân cận ngày càng tăng. Điều này đặt ra yêu cầu cấp thiết phải khai thác và sử dụng hiệu quả nguồn vật liệu tại chỗ nhằm đảm bảo hiệu quả kinh tế và tiến độ thi công.

3. Đặc điểm địa chất các tỉnh phía Nam và khả năng sử dụng đá dăm 0 ÷ 4,0 cm làm nền đường giao thông

Các tỉnh phía Nam được chia thành hai tiểu vùng chính là Đông Nam Bộ và Tây Nam Bộ (Đồng bằng sông Cửu Long). Đông Nam Bộ nằm ở vùng chuyển tiếp từ cao nguyên bazan Tây Nguyên xuống Đồng bằng sông Cửu Long, nên địa chất có tính biến đổi theo không gian. Đặc biệt, ở phía Bắc và Đông Bắc có các khối núi đá vôi, điển hình nhất là núi vàng Bà Đen. Như vậy điều này giải thích vì sao các tỉnh phía Đông của Đông Nam Bộ có dải mỏ đá vôi đa dạng và phân bố rộng rãi.

- Đặc tính vật liệu của đá dăm
 - Kích thước hạt: hỗn hợp từ 0 mm (hạt mịn) đến 40 mm (dạng cục), tỷ lệ hạt mịn vừa phải nên dễ đầm chặt hỗn hợp đá dăm khi làm móng.
 - Độ góc cạnh: do nghiền từ đá nguyên khối nên hạt sắc cạnh, liên kết tốt.
 - Thành phần khoáng: chủ yếu CaCO_3 , có thể chứa MgCO_3 , silica, đất sét.
 - Khối lượng riêng: khoảng $2,6 \div 2,7 \text{ g/cm}^3$.
 - Độ bền nén: trung bình $60 \div 200 \text{ MPa}$, thấp hơn đá granit và bazan nhưng vẫn đạt yêu cầu cho lớp nền và móng đường giao thông khu vực.
- Khả năng sử dụng làm vật liệu san lấp:
 - Dễ khai thác: Vùng có nhiều mỏ đá vôi, đặc biệt khu vực giáp Campuchia sẽ thuận lợi cho cung ứng tại chỗ.
 - Giá thành rẻ nhiều so với đá bazan, granit.
 - Dễ đầm nén, tạo lớp móng ổn định nhờ cấp phối hạt hợp lý.
 - Thoát nước khá tốt nếu lớp dày trên 20 cm và có độ dốc ngang.
 - Phù hợp với đường cấp thấp, trung bình, đường nông thôn hoặc lớp móng dưới của đường cấp cao.
- Bên cạnh đó, đá dăm từ đá vôi kích thước 0 ÷ 4,0 cm cũng có một số hạn chế:
 - Chịu mài mòn kém hơn đá bazan và granit, do đó không thích hợp cho lớp mặt đường trực tiếp chịu tải nặng; thích hợp hơn cho lớp đệm hoặc lớp nền;
 - Dễ bị hòa tan trong môi trường axit, nước chua, hoặc bị ăn mòn bởi phenol, sunfat, clorua...;
 - Sinh bụi CaCO_3 mịn khi thi công; cần tưới nước để giảm bụi và đạt độ chặt yêu cầu.

Đá dăm kích thước 0 ÷ 4,0 cm khai thác từ các mỏ giáp ranh với Campuchia có những đặc điểm địa chất khá đặc thù. Loại vật liệu này có cấu trúc hạt tương đối đồng đều, bề mặt chắc và cường độ chịu tải tốt, nhờ đó ít xảy ra hiện tượng lún nền khi so sánh với đất phù sa yếu

ở các khu vực đồng bằng. Đây là ưu thế lớn, khiến cấp phối đá dăm 0 ÷ 4,0 cm trở thành một trong những nguồn vật liệu đáng quan tâm cho xây dựng hạ tầng giao thông địa phương. Tuy nhiên, cấp phối đá dăm 0 ÷ 4,0 cm vẫn tồn tại một số hạn chế. Loại vật liệu này dễ bị hòa tan và ăn mòn khi tiếp xúc với môi trường axit, cần tưới nước khi thi công để đạt độ chặt, dẫn đến sự thay đổi về kết cấu và khả năng chịu lực của các lớp áo đường [7].



Hình 4. Thi công nền đường bằng đất đắp tại tỉnh Tây Ninh.

Trong thực tiễn thi công, cấp phối đá dăm 0 ÷ 4,0 cm có thể sử dụng trực tiếp cho nền đường cấp thấp và trung bình, miễn là quá trình thi công và đầm nén được thực hiện đúng quy chuẩn. Việc kiểm soát chặt chẽ độ ẩm và độ chặt của đất là yếu tố then chốt, bởi nếu độ ẩm không phù hợp hoặc quá trình đầm nén không đạt yêu cầu, nguy cơ co ngót, nứt bề mặt hoặc giảm độ bền cơ học sẽ gia tăng. Với những công trình trọng điểm, có yêu cầu cao về độ ổn định và độ bền lâu dài, chỉ sử dụng cấp phối đá dăm 0 ÷ 4,0 cm nguyên trạng sẽ không đáp ứng đầy đủ yêu cầu kỹ thuật. Trong trường hợp này, việc ổn định hóa tại chỗ bằng các phụ gia như xi măng, vôi, tro bay hoặc xi lò cao là cần thiết. Giải pháp này giúp cải thiện đáng kể cường độ, độ bền và khả năng chống chịu tác động bất lợi của nước [9].

Như vậy, cấp phối đá dăm 0 ÷ 4,0 cm ở các địa phương giáp biên giới với Campuchia vừa mang lại tiềm năng lớn về vật liệu xây dựng tại chỗ, vừa đặt ra yêu cầu về quản lý và khai thác hợp lý. Việc sử dụng đúng kỹ thuật sẽ giúp giảm chi phí vận chuyển vật liệu từ nơi khác, đồng thời tận dụng lợi thế địa chất của địa phương. Ngược lại, nếu khai thác và sử dụng một cách ồ ạt, thiếu quy chuẩn, không chỉ làm giảm hiệu quả của công trình mà còn tiềm ẩn nguy cơ suy thoái môi trường và mất cân bằng sinh thái. Chính vì thế, vật liệu đá dăm vừa là một tài nguyên quan trọng, vừa đòi hỏi sự thận trọng trong khai thác và áp dụng các công nghệ xây dựng phù hợp, đặc biệt khi sử dụng để thi công nền đường tại các vùng trũng ven sông.

So sánh một số tính chất khi sử dụng đá dăm 0 ÷ 4,0 cm thay thế cho lớp đất sét sỏi cuội sử dụng trong lớp nền móng đường và nền đường trong xây dựng cơ sở hạ tầng được trình bày trong Bảng 1.

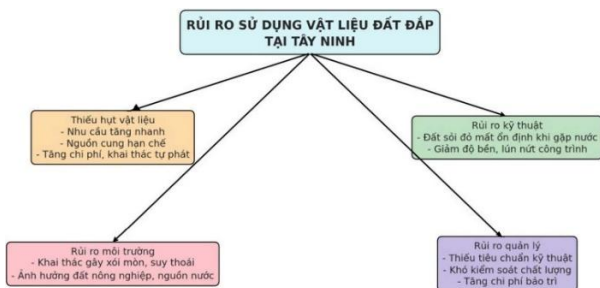
Từ số liệu trong Bảng 1, có thể rút ra một số nhận xét sau: Việc sử dụng cấp phối đá dăm 0 ÷ 4,0 cm tại chỗ ở khu vực Tây Ninh, Bình Phước

thể hiện một số ưu điểm và hạn chế mang tính tương đối rõ rệt. Về mặt kinh tế, cấp phối đá dăm 0 ÷ 4,0 cm có lợi thế vượt trội vì nguồn tại chỗ dồi dào, dễ khai thác và giám đáng kể chi phí vận chuyển, giá thành thấp, nhất là trong bối cảnh khan hiếm vật liệu xây dựng. Về cơ lý, khi đầm chặt đạt độ chặt yêu cầu ($K \geq 0,98$), đá dăm lại có ưu thế về độ bền, độ ổn định và khả năng chịu tải trọng lớn, phù hợp hơn cho móng trên hoặc các tuyến đường chính, quốc lộ và cao tốc. Mặt khác, cấp phối đất sét sỏi cuội có hạn chế đáng chú ý là tính hút ẩm và độ dính bám cao, khiến cường độ giảm trong điều kiện mưa ẩm, có khả năng bị hòa tan nhiều trong điều kiện bão hòa nước [10]. Ngược lại, cấp phối đá dăm 0 ÷ 4,0 cm ổn định hơn nhiều trong điều kiện khí hậu ẩm ướt, ít gặp rủi ro giảm chất lượng nền móng. Vì vậy, hướng tiếp cận hợp lý là sử dụng sỏi cuội để thay thế một phần hoặc toàn bộ lớp móng dưới và nền gia cố đối với đường cấp thấp, đường nông thôn hoặc đường nội bộ công nghiệp. Trong khi đó, vật liệu đá dăm vẫn cần duy trì cho lớp móng trên và các tuyến đường có tải trọng khai thác lớn.

4. Rủi ro khi sử dụng vật liệu san lấp tại các địa phương giáp vùng kinh tế trọng điểm phía Nam

Từ những đặc điểm địa chất trên, khi áp dụng vật liệu đắp tại chỗ vào thực tiễn thi công, nhiều rủi ro có thể phát sinh, cụ thể như sau:

- Việc phụ thuộc vào nguồn vật liệu san lấp tại chỗ để đáp ứng nhu cầu san lấp liên quan đến hàng loạt dự án hạ tầng có thể dẫn đến tình trạng thiếu hụt vật liệu khi nhu cầu tăng nhanh vượt khả năng cung ứng. Cơ chế xuất phát chủ yếu từ giới hạn trữ lượng hợp pháp tại các mỏ thuận lợi, tốc độ khai thác cao hơn tốc độ phục hồi và chi phí vận chuyển và giá thành công trình tăng khi phải lấy vật liệu từ xa. Hậu quả trực tiếp là trì trệ tiến độ, đội vốn do phải thay đổi nguồn cung hoặc chuyển sang vật liệu thay thế có chất lượng tương đương; về mặt xã hội, thiếu hụt còn có thể khuyến khích khai thác trái phép và tranh chấp đất đai. Để đánh giá và quản lý rủi ro nguồn vật liệu, cần xây dựng bản đồ trữ lượng dựa trên khảo sát địa chất và GIS (Hệ thống Thông tin Địa lý – Geographic Information System), đồng thời thực hiện dự báo cung – cầu theo các kịch bản phát triển hạ tầng. Các biện pháp quản lý bổ sung gồm lập cơ chế hợp đồng dài hạn, thiết lập kho dự trữ chiến lược, tối ưu hóa thiết kế nhằm giảm khối lượng đắp, và khuyến khích sử dụng vật liệu thay thế hoặc tái chế phế liệu xây dựng, nhằm giảm áp lực lên nguồn vật liệu tại chỗ.



Hình 5. Những rủi ro chính khi sử dụng vật liệu san lấp tại tỉnh Tây Ninh.

- Nguy cơ về mặt kỹ thuật bắt nguồn từ tính chất cơ lý của vật liệu đá dăm và biến động trạng thái khi tiếp xúc với nước. Mặc dù vật liệu đá dăm có ưu thế về hạt lớn và độ chặt tương đối, phần mịn còn tồn tại có thể làm giảm chỉ số CBR sau ngâm, dẫn đến lún không đồng đều, nứt mặt đường hoặc trượt mái taluy trong điều kiện mưa lớn và ngập. Cơ sở đánh giá kỹ thuật gồm các thử nghiệm phân tích hạt, CBR (unsoaked và soaked), Atterberg (cho phần mịn nếu có), cùng các thí nghiệm cắt/triaxial và thấm. Dựa trên kết quả thí nghiệm, các biện pháp giảm thiểu rủi ro cần được áp dụng đồng bộ: kiểm soát nghiêm ngặt độ ẩm và độ chặt khi thi công, đầm nén theo lớp, thiết kế lớp nền đa tầng với lớp phân phối tải và lớp gia cường địa kỹ thuật, ổn định hóa bằng xi măng, vôi hoặc phụ gia khoáng (tro bay, xi) để tăng cường cường độ, đồng thời thiết kế hệ thống thoát nước hiệu quả và áp dụng biện pháp trước tải khi cần thiết.

- Tác động môi trường của việc khai thác vật liệu san lấp với quy mô lớn biểu hiện ở thay đổi địa hình, xói mòn, bồi lắng các cửa sông và giảm chất lượng đất nông nghiệp, cùng nguy cơ suy giảm đa dạng sinh học. Nếu không có đánh giá môi trường và kế hoạch phục hồi, khu vực khai thác vật liệu san lấp có thể để lại các hố lõm, làm thay đổi chế độ thủy văn và ảnh hưởng tiêu cực đến đời sống và hạ tầng của cộng đồng. Việc nhận diện rủi ro môi trường cần dựa trên báo cáo đánh giá tác động môi trường (EIA), giám sát các chỉ tiêu nước mặt (TSS, độ đục), phân tích hóa học đất (pH, chloride, sulfate và kim loại nặng) và theo dõi sự thay đổi bề mặt sau khai thác. Giảm nhẹ rủi ro này đòi hỏi quy định chặt chẽ về hạn mức khai thác, thiết kế khai thác theo bậc thang, biện pháp chống xói như đắp băng chắn, phục hồi cảnh quan sau khai thác và ưu tiên sử dụng vật liệu tái chế để giảm nhu cầu khai thác mới.



Hình 6. Hiện trạng khai thác đất đắp và nguy cơ xói mòn, bồi lắng.

- Mặt quản lý và thể chế cũng là nguồn gốc của nhiều rủi ro khi thiếu một khung tiêu chuẩn kỹ thuật, năng lực kiểm định và cơ chế giám sát đồng bộ. Việc thiếu tiêu chuẩn đặc thù cho vật liệu đá dăm dẫn đến tiêu chí chấp nhận vật liệu khác nhau giữa các dự án, tạo ra sự bất ổn trong đấu thầu và thi công; năng lực phòng thí nghiệm địa phương và hệ thống QA/QC (Quality Assurance/Quality Control – Đảm bảo chất lượng và Kiểm soát chất lượng) yếu kém sẽ khiến các sai sót kỹ thuật chỉ lộ ra sau khi công trình đưa vào khai thác, làm tăng chi phí

bảo trì. Khắc phục vấn đề quản lý đòi hỏi xây dựng bộ tiêu chuẩn kỹ thuật địa phương, thiết lập hệ thống chứng nhận vật liệu và bắt buộc báo cáo thí nghiệm đầu vào, nâng cao năng lực giám sát thi công và phòng thí nghiệm, cùng cơ chế cấp phép khai thác minh bạch gắn với điều kiện phục hồi. Tổng hợp lại, chỉ khi các biện pháp kỹ thuật, môi trường và quản lý được triển khai đồng bộ và được theo dõi bằng các chỉ số KPI (Key Performance Indicators – Chỉ số đánh giá hiệu quả thực hiện) cụ thể (ví dụ: độ chặt đạt yêu cầu, CBR tối thiểu, mức xói lở cho phép), việc sử dụng đất đắp tại chỗ mới trở nên bền vững, an toàn và

phù hợp với mục tiêu phát triển hạ tầng của các tỉnh thuộc Vùng kinh tế trọng điểm phía Nam trong bối cảnh mở rộng hành chính.

Các nhóm rủi ro chính khi sử dụng vật liệu vật liệu san lấp tại các vùng kinh tế trọng điểm phía Nam được trình bày chi tiết trong Bảng 2.

5. Giải pháp và định hướng phát triển bền vững

Các nhóm giải pháp và định hướng phát triển bền vững cho vùng kinh tế trọng điểm phía Nam được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 1. So sánh đặc tính của đá dăm 0 ÷ 4,0 cm với đất sét sỏi cuội trong xây dựng nền đường.

Tiêu chí	Đá dăm 0 ÷ 4,0 cm	Đất sét sỏi cuội (Tây Ninh)
Nguồn gốc	Khai thác từ đá núi, nghiền sàng tại mỏ	Đất bazan phong hóa, khai thác tại chỗ
Cấu trúc hạt	Hạt góc cạnh, cấp phối dải hạt rộng	Hạt nhỏ, tương đối đồng đều, có lẫn đất mịn
Cường độ chịu tải (CBR)	Cao (≥ 20 %), ổn định hơn nhiều	Trung bình – khá (5 ÷ 12 % tùy xử lý)
Độ ổn định khi ngâm nước	Ít thay đổi, duy trì cường độ tốt	Dễ phong hóa, giảm cường độ nếu không xử lý
Khả năng đầm chặt (hệ số K đầm chặt)	Dễ đạt hệ số đầm chặt $K \geq 0,98$, ít phụ thuộc vào độ ẩm	Đạt hệ số đầm chặt $K = 0,95 \div 0,98$ với kiểm soát độ ẩm chặt chẽ
Ứng dụng	Lớp móng đường cấp cao, kết cấu chịu tải chính	Nền đường cấp thấp, trung bình; cần ổn định hóa bằng xi măng, tro bay...
Chi phí	Cao hơn do phải khai thác, nghiền, vận chuyển xa	Thấp, khai thác tại chỗ, tiết kiệm vận chuyển
Tác động môi trường	Khai thác đá gây phá vỡ cảnh quan, bụi, tiếng ồn	Khai thác nhiều có thể gây xói mòn, suy thoái đất

Bảng 2. Các nhóm rủi ro khi sử dụng vật liệu san lấp tại Tây Ninh.

Nhóm rủi ro	Nội dung chính	Hệ quả tiềm ẩn đối với công trình
Thiếu hụt vật liệu	Nhu cầu đất đắp tăng nhanh trong khi nguồn cung địa phương hạn chế	Gây chậm tiến độ thi công, tăng chi phí vận chuyển từ nơi khác
Kỹ thuật	Vật liệu đá dăm 0 ÷ 4,0 cm có thể mất ổn định khi gặp nước, giảm độ bền nếu không xử lý	Dẫn đến lún, nứt, giảm tuổi thọ công trình
Môi trường	Khai thác vật liệu đá dăm quy mô lớn làm xói mòn, mất cân bằng sinh thái	Gây suy thoái đất, ảnh hưởng hệ sinh thái và đời sống dân cư
Quản lý	Thiếu tiêu chuẩn, quy chuẩn riêng cho loại đất này, quy trình thi công thiếu đồng bộ	Làm giảm chất lượng tổng thể, khó kiểm soát rủi ro trong quá trình thực hiện

Bảng 3. Giải pháp và định hướng phát triển bền vững cho vật liệu san lấp tại Tây Ninh.

Nhóm giải pháp	Nội dung chính	Kỳ vọng đạt được
Khảo sát & quy hoạch	Lập bản đồ địa chất - vật liệu; xác định trữ lượng, chất lượng và vùng khai thác hợp lý bằng công nghệ GIS và viễn thám.	Quản lý tài nguyên có hệ thống, khai thác bền vững, đảm bảo an ninh vật liệu lâu dài.
Tiêu chuẩn hóa kỹ thuật	Ban hành bộ tiêu chuẩn riêng cho vật liệu đá dăm: độ chặt, độ ẩm tối ưu, CBR, độ bền khi ngập nước.	Đảm bảo tính đồng bộ, nâng cao độ bền công trình, giảm rủi ro kỹ thuật.
Công nghệ xử lý & cải thiện đất	Ổn định đất bằng xi măng, vôi, phụ gia kiểm hoạt tính (tro bay, xi lò cao); tái sử dụng phế thải công nghiệp.	Cải thiện cơ học đất, tăng tuổi thọ công trình, đồng thời giảm phát thải và tận dụng chất thải.
Quản lý & giám sát	Cơ chế quản lý chặt chẽ khai thác, vận chuyển, phục hồi sau khai thác, gắn với quy hoạch hạ tầng.	Hạn chế khai thác tràn lan, bảo vệ môi trường, duy trì cân bằng sinh thái.
Định hướng dài hạn	Phát triển mô hình “vật liệu xây dựng bền vững tại chỗ”, tối ưu hóa nguồn tại địa phương.	Tự chủ nguồn cung, giảm chi phí, giảm phụ thuộc bên ngoài, đóng góp vào mục tiêu Net Zero 2050.

Để giảm thiểu rủi ro và đảm bảo nguồn vật liệu san lấp cho hiện tại và tương lai, Tây Ninh cần triển khai đồng bộ các giải pháp sau:

Trong bối cảnh nhu cầu vật liệu san lấp ngày càng tăng mạnh do tốc độ phát triển hạ tầng giao thông và đô thị quanh khu vực TP. Hồ Chí Minh, việc đảm bảo nguồn cung ổn định và bền vững trở thành yêu cầu cấp thiết. Các rủi ro tiềm ẩn bao gồm sự thiếu hụt vật liệu, đặc tính kỹ thuật phức tạp của đá dăm, những tác động môi trường từ hoạt động khai thác, cũng như sự thiếu vắng các tiêu chuẩn quản lý đồng bộ. Những vấn đề này đặt ra nhu cầu phải triển khai các giải pháp toàn diện và định hướng phát triển lâu dài. Để đạt được điều đó, các tỉnh – thành phố cần xây dựng một chiến lược mang tính hệ thống, kết hợp giữa khảo sát, chuẩn hóa, áp dụng công nghệ hiện đại và thiết lập khung quản lý chặt chẽ, hướng đến mục tiêu phát triển bền vững.

Trước hết, công tác điều tra, khảo sát và lập bản đồ địa chất - vật liệu tại địa phương đóng vai trò đặc biệt quan trọng. Đây là cơ sở khoa học để xác định trữ lượng và chất lượng các mỏ đất, cát và vật liệu thay thế tiềm năng, từ đó phân vùng khai thác hợp lý. Thiếu dữ liệu địa chất chính xác và cập nhật có thể dẫn đến khai thác tự phát, gây sạt lở, xói mòn và suy giảm tài nguyên thiên nhiên nghiêm trọng. Việc ứng dụng công nghệ khảo sát hiện đại, kết hợp dữ liệu viễn thám và GIS, sẽ giúp tỉnh Tây Ninh xây dựng bản đồ quản lý vật liệu toàn diện, phục vụ quy hoạch khai thác có kiểm soát. Đây cũng là bước quan trọng đảm bảo an ninh vật liệu cho cả hiện tại và tương lai, đặc biệt trong bối cảnh nhu cầu đất đắp dự báo tăng mạnh sau khi Tây Ninh sáp nhập với Long An, hình thành đơn vị hành chính mới với quy mô dân số và phát triển hạ tầng lớn hơn.

Song song với việc khảo sát, các địa phương cần khẩn trương xây dựng và ban hành một bộ tiêu chuẩn kỹ thuật riêng cho vật liệu đá dăm - loại vật liệu phổ biến tại vùng kinh tế trọng điểm phía Nam có tiềm năng sử dụng làm đất đắp và nền đường giao thông. Bộ tiêu chuẩn này phải quy định rõ các chỉ tiêu cơ bản như độ chặt yêu cầu, độ ẩm tối ưu khi thi công, sức chịu tải CBR (California Bearing Ratio – chỉ số đánh giá khả năng chịu tải của đất và vật liệu nền đường), khả năng duy trì độ bền trong điều kiện ngập nước, đặc biệt là khi lượng mưa gia tăng do biến đổi khí hậu cũng như các chỉ tiêu môi trường liên quan. Việc chuẩn hóa không chỉ tạo cơ sở khoa học cho công tác thiết kế và thi công mà còn góp phần đồng bộ hóa chất lượng các công trình hạ tầng, hạn chế rủi ro kỹ thuật trong quá trình khai thác và sử dụng vật liệu đá dăm. Nếu không có khung tiêu chuẩn phù hợp, việc áp dụng vật liệu sẽ thiếu nhất quán, dẫn đến nguy cơ mất ổn định kết cấu công trình, nhất là trong điều kiện khí hậu thường xuyên chịu tác động của mưa lớn và ngập úng cục bộ.

Ngoài yếu tố tiêu chuẩn hóa, công nghệ xử lý và cải thiện đất tại chỗ cũng đóng vai trò then chốt. Đặc điểm của vật liệu đá dăm $0 \div 4,0$ cm là dễ bị suy giảm độ bền khi tiếp xúc lâu dài với nước, do đó các giải pháp ổn định hóa cần được áp dụng rộng rãi. Các nghiên cứu gần đây cho thấy việc trộn đất với xi măng, vôi hoặc các phụ gia kiềm hoạt tính như tro bay và xỉ lò cao có thể cải thiện đáng kể tính chất cơ học của đất, nâng cao độ bền lâu dài và khả năng chịu tải [11,12]. Việc ứng

dụng các phụ gia có nguồn gốc từ phế thải công nghiệp cũng giúp giải quyết đồng thời hai vấn đề: vừa cải thiện chất lượng vật liệu xây dựng, giảm thiểu áp lực lên môi trường. Đây là hướng đi phù hợp với chiến lược phát triển kinh tế tuần hoàn và xu thế xây dựng xanh mà Việt Nam đang thúc đẩy trong giai đoạn hiện nay.

Không kém phần quan trọng là vấn đề quản lý nhà nước đối với hoạt động khai thác và sử dụng vật liệu san lấp. Hoạt động khai thác nếu thiếu sự giám sát nghiêm ngặt dễ dẫn đến khai thác quá mức, hủy hoại cảnh quan, suy thoái đất và mất cân bằng sinh thái. Vì vậy, các địa phương cần thiết lập một cơ chế quản lý chặt chẽ, từ khâu cấp phép, kiểm tra trữ lượng khai thác, giám sát quá trình vận chuyển đến khâu hoàn nguyên sau khai thác. Việc này cần gắn với quy hoạch phát triển hạ tầng dài hạn và kế hoạch sử dụng đất đai tổng thể, bảo đảm khai thác đi đôi với bảo vệ môi trường và phát triển bền vững. Đồng thời, cần khuyến khích sự tham gia của doanh nghiệp trong nghiên cứu, ứng dụng vật liệu thay thế và đầu tư vào công nghệ xử lý hiện đại, thay vì chỉ tập trung vào khai thác nguồn đất tự nhiên vốn ngày càng khan hiếm.

Về lâu dài, cần xây dựng mô hình “vật liệu xây dựng bền vững tại chỗ”, dựa trên việc tối ưu hóa nguồn tài nguyên sẵn có kết hợp với ứng dụng công nghệ tiên tiến nhằm đảm bảo tự chủ nguồn cung vật liệu. Mô hình này mang lại nhiều lợi ích thiết thực, bao gồm giảm đáng kể chi phí vận chuyển từ các tỉnh lân cận, giảm phát thải khí nhà kính, đồng thời tạo ra chuỗi cung ứng khép kín và hạn chế rủi ro phụ thuộc vào nguồn vật liệu bên ngoài [13]. Quan trọng hơn, phát triển mô hình này sẽ giúp các vùng kinh tế trọng điểm phía Nam trở thành một điển hình trong việc gắn kết phát triển hạ tầng với quản lý tài nguyên bền vững, từ đó đóng góp tích cực vào mục tiêu quốc gia về giảm phát thải ròng bằng “0” vào năm 2050.

Có thể thấy, giải pháp và định hướng phát triển bền vững trong lĩnh vực vật liệu san lấp tại vùng kinh tế trọng điểm phía Nam không chỉ là yêu cầu mang tính cấp bách nhằm giải quyết tình trạng thiếu hụt trước mắt, mà còn là một chiến lược lâu dài, hướng tới sự cân bằng giữa phát triển kinh tế, đảm bảo an ninh hạ tầng và bảo vệ môi trường [14]. Hiệu quả của chiến lược này phụ thuộc vào mức độ phối hợp giữa nghiên cứu khoa học, ứng dụng công nghệ, thiết lập hệ thống tiêu chuẩn và cơ chế quản lý minh bạch. Chỉ khi các yếu tố này được triển khai đồng bộ, chiến lược mới có thể vượt qua những thách thức hiện tại và khẳng định vị thế của vùng kinh tế trọng điểm phía Nam.

6. Kết luận và kiến nghị

6.1. Kết luận

Sự phát triển hạ tầng giao thông tại các tỉnh phía Nam trong bối cảnh mở rộng địa bàn hành chính làm gia tăng áp lực lớn về nhu cầu vật liệu san lấp là nền đường ven sông. Đặc điểm địa chất với sự phân bố của cấp phối đá dăm $0 \div 4,0$ cm mở ra khả năng sử dụng vật liệu tại chỗ, song cũng tiềm ẩn nhiều rủi ro kỹ thuật, thấm nước, môi trường và quản lý. Do đó, cần có các nghiên cứu đánh giá chi tiết hơn về đặc tính cơ học, độ bền lâu dài của cấp phối hỗn hợp đá dăm $0 \div 4,0$ cm để

hợp với (10 ÷ 20) % tro bay nhiệt điện Duyên Hải 1, đồng thời sớm ban hành bộ tiêu chuẩn kỹ thuật và giải pháp quản lý phù hợp. Việc khai thác và sử dụng hợp lý nguồn vật liệu địa phương sẽ góp phần đảm bảo tiến độ, chất lượng công trình, hướng đến phát triển hạ tầng bền vững tại các tỉnh Đông Nam Bộ trong hiện tại và tương lai.

Sự sáp nhập hành chính giữa các địa phương đã tạo ra một không gian phát triển mới, đồng thời kéo theo nhu cầu vật liệu san lấp khổng lồ cho hạ tầng giao thông, công nghiệp và đô thị. Đây là áp lực lớn, nhưng cũng mở ra cơ hội khai thác nguồn vật liệu tại chỗ để giảm chi phí và rút ngắn tiến độ thi công.

Cấp phối đá dăm 0 ÷ 4,0 cm phân bố rộng tại Đông Nam Bộ có ưu điểm về cường độ, độ chặt và khả năng chịu tải, phù hợp sử dụng làm vật liệu san lấp cho nền đường vùng trũng ven sông. Tuy vậy, cấp phối đá dăm 0 ÷ 4,0 cm cũng có hạn chế về khả năng thấm nước, tính ổn định khi gặp mưa nhiều, nguy cơ phong hóa và ăn mòn trong môi trường axit, rửa trôi nếu không được xử lý và quản lý đúng kỹ thuật.

Việc sử dụng cấp phối đá dăm 0 ÷ 4,0 cm kết hợp với (10 ÷ 20) % tro bay nhiệt điện thay thế một phần cát và đất sét san lấp truyền thống không chỉ mang lại hiệu quả kinh tế mà còn góp phần bảo vệ môi trường, giảm khai thác cát sông và hạn chế vận chuyển vật liệu từ xa. Tuy nhiên, để hiện thực hóa lợi ích này, cần có quy trình thi công, kiểm soát chất lượng và giám sát khai thác đồng bộ.

6.2. Kiến nghị

- Cần triển khai các dự án nghiên cứu liên ngành giữa các viện, trường đại học và doanh nghiệp để đánh giá toàn diện tiềm năng sử dụng cấp phối đá dăm 0 ÷ 4,0 cm kết hợp với (10 ÷ 20) % tro bay nhiệt điện trong xây dựng hạ tầng, từ quy mô thí nghiệm đến thử nghiệm tại hiện trường.

- Xem xét xây dựng chiến lược quản lý vật liệu địa phương gắn với phát triển hạ tầng bền vững, trong đó ứng dụng công nghệ xử lý, tái chế và ổn định hóa vật liệu san lấp trở thành giải pháp chủ lực. Đồng thời, cần lồng ghép yếu tố bảo vệ môi trường và phục hồi sinh thái trong quá trình khai thác, nhằm bảo đảm sự cân bằng giữa phát triển kinh tế và bảo tồn tài nguyên thiên nhiên.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Trần Thị Thu Hương (2019). Phát triển vùng kinh tế trọng điểm ở Việt Nam: Thực trạng và một số khía cạnh chính sách. Tạp chí Kinh tế & Phát triển 260 (2019): 25-33.
- [2]. Vũ Tuấn Hưng, Ưông Thị Ngọc Lan (2023). Liên kết vùng trong phát triển kinh tế-xã hội giữa đồng Bằng Sông Cửu Long và Đông Nam Bộ: khái quát thực trạng và một số đề xuất. Tạp chí Khoa học xã hội Thành phố Hồ Chí Minh 11 (305) (2023): 1-11.
- [3]. Hoàng Quốc Gia, Trịnh Khắc Kiên (2019). Thực trạng khai thác sử dụng cát tự nhiên tại Việt Nam và nghiên cứu tính chất cát biển tại một số vùng biển Việt Nam. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi Trường, Số 66 (2019): 151-156.

- [4]. TCVN 4200:2012. Đất xây dựng – Phương pháp xác định tính nén lún trong phòng thí nghiệm. Hà Nội: Nhà xuất bản Xây dựng.
- [5]. Nguyễn Quang Phú, Ngô Thị Ngọc Vân, and Bùi Mạnh Cường (2024). Nghiên cứu sử dụng phụ phẩm công nghiệp (xi thép) thay thế cốt liệu đá dăm để sản xuất bê tông ứng dụng cho các công trình thủy lợi. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi, số 83-2024. 70-78.
- [6]. World Bank. (2020). Sustainable Infrastructure Development in Vietnam: Resource Efficiency and Resilience. Washington, DC: World Bank Publications.
- [7]. TCVN 8857:2011. Lớp kết cấu áo đường ô tô bằng cấp phối thiên nhiên – Vật liệu, thi công và nghiệm thu. Hà Nội: Bộ Khoa học & Công nghệ.
- [8]. Nguyễn Trọng Hoài (2023). Vùng Kinh Tế Đông Nam Bộ: Hiện trạng phát triển và các gợi ý tái cấu trúc bền vững. Hội thảo quốc gia “Động lực phát triển kinh tế-xã hội vùng Đông Nam Bộ: Tiềm năng và Thách thức (2023). 32 trang.
- [9]. Ngo Kim Tuan, Phan Quang Minh, Nguyen Hoang Giang, Nguyen Tien Dung, Kawamoto K. (2023). Porosity and permeability of pervious concrete using construction and demolition waste in Vietnam. International Journal of Geomate, 24(101), 12–21.
- [10]. Zhang L., Chen Y. (2018). Engineering properties of lateritic soils and their applications in road construction. Journal of Materials in Civil Engineering, 30(9), 04018220.
- [11]. Kien, T. T., Pham T. V. L. (2021). Utilization of recycled coal mining waste for road foundation layers in Vietnam. Geomate Journal, 21(87), 11–18.
- [12]. Roshan, M. J., Rashid, A. S. B. A., Nejabi, M. N., Jusoh, S. N. B., Razali, R. (2022). Evaluation of cement stabilised residual soil on macro - and micro-scale for road construction. Journal of Engineering and Applied Science, 69, 109.
- [13]. Nguyễn Khánh Duy, Trần Thị Út Thù, Nguyễn Hữu Tâm, Võ Diễm Quỳnh, Huỳnh Thị Kim Luyến, Nguyễn Đình Anh Khoa, Nguyễn Văn Minh (2024). Xây dựng bộ chỉ tiêu đánh giá công trường xanh tại thành phố Hồ Chí Minh. Tạp chí Vật liệu và Xây dựng-Bộ Xây dựng 14, no. 05 (2024): 111-Trang.
- [14]. Huỳnh Đức Thiện, Trần Hán Biên (2019). Vấn đề môi trường ở vùng kinh tế trọng điểm phía Nam-thực trạng và giải pháp. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Sư phạm TP Hồ Chí Minh 35 (2019): 145-145.