

Đánh giá khả năng sử dụng vật chất nạo vét từ cửa sông, cửa biển làm vật liệu san lấp

Phạm Hữu Thiên^{1*}, Dương Thanh Qui¹, Tạ Văn Luân¹, Lương Đức Long²

¹ Viện Vật liệu xây dựng

² Hiệp hội Xi măng Việt Nam

TỪ KHOÁ

Vật chất nạo vét
Mô hình thực tế
Cấp phối tối ưu
San lấp
Xử lý bùn thải

TÓM TẮT

Vật chất nạo vét từ các cửa sông cửa biển là loại vật liệu có tính chảy dẻo, hàm lượng mất khi nung và độ trương nở lớn. Vì vậy, để đánh giá tính khả thi của việc sử dụng loại vật chất này làm vật liệu san lấp, ngoài các kết quả nghiên cứu ở trong phòng thí nghiệm, việc đánh giá chất lượng và sự phù hợp của loại vật liệu trên mô hình thực tế cũng đóng vai trò rất quan trọng. Trong bài báo này, nhóm nghiên cứu đã tiến hành thi công và đánh giá chất lượng bãi thử nghiệm trên diện tích 1000 m² sử dụng các loại vật liệu như bùn thải nạo vét, vật liệu san lấp thông thường để đánh giá về khả năng ứng dụng vào thực tiễn các vật chất nạo vét này, thông qua các chỉ tiêu như độ chặt K, Chỉ số CBR, Môđun E của các lớp vật liệu sau khi thi công. Kết quả cho thấy, khi sử dụng các loại vật chất nạo vét từ cửa sông cửa biển, kết hợp với các loại vật liệu gia cố như xi măng, xỉ hạt lò cao, chất lượng bãi thử nghiệm sử dụng bùn thải nạo vét đã gia cố hoàn toàn đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật về nền và móng đường giao thông theo TCVN 9436:2012 và TCVN 10379:2014 theo các mức khác nhau và hoàn toàn có thể sử dụng loại vật liệu này áp dụng rộng rãi vào các công trình thực tế.

KEYWORDS

Dredged material
Field-scale model
Optimal mix design
Backfilling
Sludge treatment

ABSTRACT

Dredged materials from estuarine and coastal port areas are typically characterized by high plasticity, significant loss on ignition, and high expansion potential. Therefore, to assess the feasibility of using such materials as backfill, it is essential to conduct not only laboratory tests but also in-situ evaluations under real construction conditions. In this study, the research team carried out a pilot field trial over an area of 1000 m², using both dredged sludge and conventional backfill materials. The aim was to evaluate the applicability of dredged sediments by measuring key engineering indicators, including the compaction coefficient (K), California Bearing Ratio (CBR), and elastic modulus (E) of the constructed layers. The results indicate that when dredged materials from estuarine and port areas are stabilized with additives such as cement and ground granulated blast furnace slag (GGBFS), the improved materials fully meet the technical standards for subgrade and foundation construction as specified in TCVN 9436:2012 and TCVN 10379:2014 at various specification levels. These findings support the potential for widespread application of stabilized dredged materials in practical infrastructure development.

1. Giới thiệu

Nghiên cứu sử dụng vật chất nạo vét (VCNV) như một nguồn tài nguyên không chỉ quan trọng mà thậm chí còn mang tính cấp thiết bởi việc sử dụng vật liệu này đem lại các hiệu quả xã hội, môi trường và kinh tế (thay vì chôn lấp hoặc đổ thải). Việc sử dụng VCNV thúc đẩy sự phát triển bền vững toàn cầu. Hàng năm, trên thế giới có hàng trăm triệu mét khối vật liệu nạo vét cảng, vịnh và đường thủy nhằm tối ưu hóa giao thông thủy, giảm thiểu nguy cơ về ngập úng, lũ lụt...

Vật chất nạo vét hiện nay được ứng dụng hiệu quả trong nhiều lĩnh vực xây dựng và môi trường. Các ứng dụng tiêu biểu bao gồm: san lấp mặt bằng, gia cố nền đất yếu, tạo mới đất ở ven biển, phục hồi đất

ngập nước, làm vật liệu đắp cho công trình giao thông, và sử dụng làm nguyên liệu sản xuất vật liệu xây dựng như gạch hoặc bê tông nhẹ. Ngoài ra, vật chất nạo vét còn được dùng để cải tạo hồ khai thác mỏ, lấp bãi thải và chống xói lở bờ biển [1-5].

Trong lĩnh vực san lấp công trình, vật chất nạo vét từ cửa sông, cửa biển có thể sử dụng khi được gia cố với các loại phụ gia hóa học hoặc các loại vật liệu giúp ổn định, đóng rắn hoặc cải thiện thành phần hạt như xi măng, vôi, tro xỉ nhiệt điện, xỉ hạt lò cao.... Các vật liệu này giúp cải thiện tính chất cơ lý của vật chất nạo vét, tăng khả năng chịu lực, độ bền và tính ổn định khi sử dụng trong xây dựng [6-10].

Trên thế giới đã có nhiều dự án sử dụng VCNV làm vật liệu san lấp công trình, tùy thuộc vào tính chất vật liệu và các loại hình công

*Liên hệ tác giả: phamhuuthienxd96@gmail.com

Nhận ngày 07/04/2025, sửa xong ngày 22/04/2025, chấp nhận đăng ngày 23/04/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.02.2025.898>

nghệ thi công khác nhau ở mỗi quốc gia, cụ thể như [11-13]:

- Giải pháp sử dụng thiết bị thoát nước và hút chân không;
- Giải pháp trộn chất kết dính vào bùn bằng hệ thống bơm khí nén;
- Sử dụng hệ thống trạm trộn;
- Giải pháp thoát nước tự nhiên;
- Giải pháp trộn theo công nghệ Jet – Grouting;
- Giải pháp trộn tại chỗ.



Hình 1. Mô hình thi công gia cố đất bùn bằng thoát nước và hút chân không tại Nhật Bản [14].



Hình 2. Công tác thi công, sử dụng bùn nạo vét tại cảng biển Bessin, Pháp [14].

Ở Việt Nam hiện nay, việc sử dụng bùn thải nạo vét làm vật liệu san lấp chủ yếu dừng lại ở quy mô phòng thí nghiệm và chưa có nhiều các nghiên cứu thi công thử nghiệm. Để đánh giá khả năng ứng dụng các loại VCNV đã nêu vào thực tế, nhóm tác giả đã tiến hành quan trắc đánh giá, lựa chọn địa điểm và tiến hành thi công thử nghiệm kết hợp đánh giá các chỉ tiêu kỹ thuật của bãi san lấp sử dụng vật chất nạo vét trên địa bàn tỉnh Bà Rịa – Vũng Tàu.

Khu vực thi công thử nghiệm được lựa chọn là Khu công nghiệp Phú Mỹ 3, huyện Tân Thành, tỉnh Bà Rịa Vũng Tàu.

Thông tin chi tiết về bãi thử nghiệm:

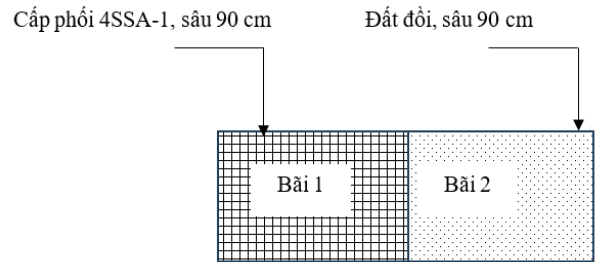
- Diện tích bãi san lấp: 1.000 m²
- Bãi thực nghiệm được chia thành 2 bãi, trong đó có 1 bãi sử dụng cấp phối vật chất nạo vét tối ưu đã được lựa chọn từ trong phòng thí nghiệm [15] và 1 bãi đối chứng sử dụng đất đồi.
- Mỗi bãi sẽ được chia làm 3 lớp, với chiều dày mỗi lớp sau thi công là 30 cm với độ chặt K > 90.

Thông tin diện tích và cấp phối bãi thi công được trình bày cụ thể dưới đây:

* Bãi số 1

- + Diện tích: 500 m² (20m x 25m)

- + Chiều dày đắp sau khi đã lu lèn đạt độ chặt K > 90 là 0,9 m
- + Cấp phối sử dụng 4SSA-1 (theo % khối lượng: 94% vật chất nạo vét, 2% xi măng và 4% xi lò cao nghiền mịn)
- * Bãi số 2 thi công bãi san lấp đối chứng
- + Diện tích: 500 m² (20m x 25m)
- + Chiều dày đắp sau khi đã lu lèn đạt độ chặt > 90 là 0,9 m
- + Sử dụng đất đồi để làm vật liệu san lấp



Hình 1. Sơ đồ các bãi san lấp thử nghiệm.

2. Nguyên vật liệu sử dụng và phương pháp đánh giá

2.1. Nguyên vật liệu sử dụng

Nguyên vật liệu sử dụng để thi công thử nghiệm gồm những loại như sau: Xi măng PCB40 Cẩm Phả, xi lò cao nghiền mịn S95 của Hòa Phát, nước và vật chất nạo vét phát sinh từ dự án nạo vét duy tu luồng hàng hải Vũng Tàu - Thị Vải do Tổng công ty bảo đảm an toàn hàng hải Miền Nam quản lý. Các nguyên liệu đều phải đáp ứng được yêu cầu kỹ thuật hiện hành, đối với vật chất nạo vét cần đáp ứng được yêu cầu không phải là chất thải nguy QCVN 07/BTNMT.

2.2. Phương pháp đánh giá

Để đánh giá chất lượng bãi san lấp sử dụng các vật chất nạo vét đã được gia cố so với vật liệu san lấp thông thường, nhóm nghiên cứu tiến hành đánh giá các lớp vật liệu sau khi thi công với các chỉ tiêu kỹ thuật như Độ chặt K, CBR, Môđun E... theo các tiêu chuẩn như sau:

TCVN 12790:2020 về Đất, đá dăm dùng trong công trình giao thông - Đầm nén Proctor.

TCVN 12791:2020 Xác định độ chặt của đất tại hiện trường bằng phương pháp dao dai.

TCVN 8821:2011 Phương pháp xác định chỉ số CBR của nền đất và các lớp móng đường bằng vật liệu rời tại hiện trường.

TCVN 8861:2011 Áo đường mềm – Xác định mô đun đàn hồi của nền đất và các lớp kết cấu áo đường bằng phương pháp sử dụng tấm ép cứng.

3. Thi công thử nghiệm

Về cơ bản quy trình thi công thử nghiệm gồm các bước cơ bản như sau:

Bước 1 - Chuẩn bị vật liệu: Vật liệu được tập kết tại bãi thi công, đối với xi măng và xi lò cao phải che đậy để tránh bị ẩm.

Bước 2 - Trộn khô hỗn hợp vật liệu: Quá trình trộn khô này đóng vai trò quan trọng trong việc đồng nhất hỗn hợp từ đó ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng lớp rải. Quá trình trộn khô được thực hiện bằng máy xúc, sau khi các vật liệu đã được tập hợp thông qua quá trình định lượng, với thông số của gầu xúc là $1,2 \text{ m}^3$ thì với khoảng thời gian trộn là 1 giờ 30 phút, hỗn hợp tương đối đồng nhất.

Bước 3 - Công tác rải hỗn hợp vật liệu thi công: Vật liệu sau khi đồng nhất, được rải theo từng lớp thi công, với mỗi lớp thi công có chiều dày 30 cm. Sử dụng máy xúc để san gạt vật liệu, trong quá trình rải nên chú ý các loại vật liệu phải được phân tán đều và có chiều dày như nhau, có thể sử dụng phương pháp cứ $5-10 \text{ m}^2$ lại cắm mốc cao độ để điều chỉnh lớp vật liệu đổ được tốt hơn.

Bước 4 - Phun ẩm: Trước khi lu lèn, các hỗn hợp thi công cần được bổ sung thêm một lượng nước nhất định để đạt được độ ẩm tối ưu của vật liệu, từ đó dễ dàng đạt được độ chặt thi công K sau quá trình lu lèn. Tuy nhiên, do bản chất vật liệu có tính háo nước và đồng thời trong quá trình thi công do điều kiện thời tiết và công tác thi công vật liệu dễ bị hao hụt độ ẩm, vì vậy trong quá trình thi công nên tạo độ ẩm cho hỗn hợp hỗn hợp cao hơn độ ẩm tối ưu từ 1-2 %.

Bước 5 - Công tác trộn ẩm vật liệu thi công: quá trình trộn ẩm được thực hiện sau khi tưới nước với mục đích làm cho hỗn hợp hỗn hợp có độ ẩm đồng đều, ngoài việc giúp cho quá trình lu lèn dễ hơn, còn giúp xi măng thủy hóa tốt hơn do có lượng nước hợp lý, nâng cao chất lượng của bãi san lấp. Quá trình trộn ẩm cũng có thể thực hiện bằng máy trộn xới phay liên hoàn, với thông số máy là công suất làm việc 47 HP, tốc độ: 2800 vòng/phút và tốc độ trộn là $0,35 \text{ m/s}$ thì với 2 lượt trộn thì hỗn hợp có độ ẩm tương đối đồng nhất. Có thể kiểm tra độ đồng đều của độ ẩm bằng cách kiểm tra độ ẩm tại một vài vị trí khác nhau.

Bước 6 - Công tác lu lèn: sử dụng lu chấn rung Sakai SV 520HD có tải trọng cơ bản là 11000 kglbs, tốc độ lu rung là $0,5 \text{ m/s}$ thì với tần suất lu 15 lần/1 điểm thì có thể đạt được độ chặt K90. Các vết lu liên tiếp phải đè lên nhau ít nhất 20 cm hoặc có thể lên tới $\frac{1}{2}$ chiều rộng bánh lu. Lưu ý rằng, 2-3 lượt lu đầu tiên nên chạy chế độ lu tĩnh để ổn định bề mặt lớp hỗn hợp, sau đó chuyển sang chế độ lu rung.

Bước 7 - Quy trình kiểm tra và nghiệm thu: Tiến hành kiểm tra các chỉ tiêu về độ chặt K, giá trị CBR và mô đun đàn hồi của từng lớp thi công và bãi thử nghiệm sau khi hoàn thành đủ 3 lớp.



4. Đánh giá chất lượng bãi san lấp thử nghiệm

4.1. Đánh giá tính chất của các cấp phối vật liệu tại hiện trường

Trước khi đưa các hỗn hợp ra hiện trường để sử dụng thi công thử nghiệm cần phải xác định khối lượng khô lớn nhất và độ ẩm tối ưu trong phòng thí nghiệm, với mục đích làm căn cứ để xác định độ chặt K sau lu tại hiện trường.

Với cấp phối 4SSA-1, kết quả thử nghiệm như sau:

+ Khối lượng thể tích lớn nhất là $V_{\max} = 1,425 \text{ g/cm}^3$

+ Độ ẩm tối ưu là $W = 15,8 \%$.

Với cấp phối 100Đ, kết quả thử nghiệm như sau:

+ Khối lượng thể tích lớn nhất là $V_{\max} = 1,657 \text{ g/cm}^3$

+ Độ ẩm tối ưu là $W = 19,3 \%$.

Với cấp phối đất pha cát (lớp nền), kết quả thử nghiệm như sau:

+ Khối lượng thể tích lớn nhất là $V_{\max} = 1,573 \text{ g/cm}^3$

+ Độ ẩm tối ưu là $W = 16,2 \%$.

4.2. Đánh giá chất lượng lớp nền trước khi thi công thử nghiệm

Để tiến hành thi công thử nghiệm khả năng sử dụng vật chất nạo vét sau khi gia cố làm vật liệu san lấp, nhóm đề tài đã tiến hành đánh giá kiểm tra chất lượng lớp nền trước khi tiến hành thi công thử nghiệm. Qua kết quả kiểm tra, chất lượng lớp nền thu được như Bảng 1.

Qua quá trình thí nghiệm kiểm tra chất lượng lớp đất nền trước khi thi công có thể thấy rằng:

Độ chặt K của các vị trí thí nghiệm đều lớn hơn K95, đạt yêu cầu kỹ thuật để thi công.

Giá trị CBR không có sự chênh lệch lớn, dao động trong khoảng (12,6 – 14,9) %, đạt yêu cầu kỹ thuật thi công.

Giá trị modun đàn hồi cũng tương đối cao, dao động trong khoảng từ (51 – 52) MPa, đều thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật để thi công.

4.3. Đánh giá chất lượng bãi thi công

Quá trình kiểm tra chất lượng bãi thi công thử nghiệm được thực hiện bởi phòng thí nghiệm Las XD165 thuộc Phân viện Vật liệu xây dựng miền Nam – Viện Vật liệu xây dựng, kết quả được tổng hợp trong Bảng 1, Bảng 2, Bảng 3.



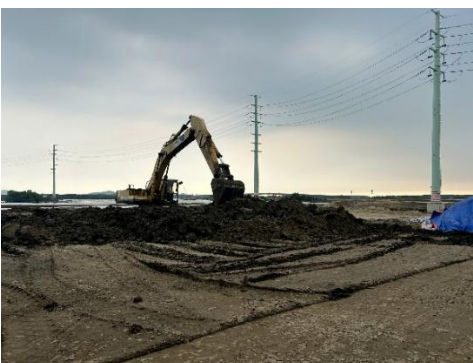
a) Chuẩn bị mặt bằng



b) Nạo vét và tập kết vật chất nạo vét



c) Rải và trộn vật liệu



d) San gạt vật liệu



e) Đồng nhất vật liệu



f) Lu bãi



g) Thí nghiệm chất lượng bãi



h) Hoàn thiện bãi thi công

Hình 3. Thi công thử nghiệm bãi san lấp.

Bảng 1. Chất lượng lớp nền trước khi thi công.

$\gamma_{\max}$ (g/cm ³)	W _o (%)	KLK _{ht} (g/cm ³)	W _{ht} (%)	Độ chặt K, %	Modun E (Mpa)	Trị số CBR (%)
Bãi san lấp sử dụng bùn thải gia cố						
1,573	16,2	1,520	16,4	96,6	52,5	14,9
Bãi san lấp sử dụng đất san lấp thông thường						
1,573	16,2	1,513	16,3	96,2	51,3	12,6

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm chất lượng bãi san lấp.

Vị trí	$\gamma_{\max}$, g/cm ³	W _o , %	Chiều dày, cm	KLK _{hđ} , g/cm ³	W _{hđ} , %	Độ chặt K
Bãi thử nghiệm số 1 - Bãi san lấp sử dụng bùn thải gia cố						
Bãi 1 lớp 1						
1	1,425	15,8	30,5	1,325	17,1	93,0
2			30	1,308	18,2	91,8
Bãi 1 lớp 2						
1	1,425	15,8	29,5	1,289	18,7	90,5
2			30,5	1,301	18,1	91,3
Bãi 1 lớp 3						
1	1,425	15,8	30	1,308	17,8	91,8
2			30	1,345	16,2	94,4
Bãi thử nghiệm số 2 - Bãi san lấp sử dụng đất san lấp thông thường						
Bãi 2 lớp 1						
1	1,657	19,3	30,5	1,545	20,1	93,2
2			30	1,501	21,8	90,6
Bãi 2 lớp 2						
1	1,657	19,3	30,5	1,562	19,7	94,3
2			30	1,527	20,9	92,2
Bãi 2 lớp 3						
1	1,657	19,3	30	1,515	21,4	91,4
2			30	1,534	20,3	92,6

Bảng 3. Kết quả thí nghiệm tính chất cơ lý của bãi san lấp.

Vị trí	CBR, %			Modun E, MPa		
	Ban đầu	7 ngày	28 ngày	Ban đầu	7 ngày	28 ngày
Bãi thử nghiệm số 1 - Bãi san lấp sử dụng bùn thải gia cố						
Bãi 1 lớp 1						
1	15,3			93,1		
2	13,8			89,2		
Bãi 1 lớp 2						
1	13,5			87,2		
2	15,1			89,5		
Bãi 1 lớp 3						
1	14,2	16,8	19,8	89,3	139,7	202,6
2	16,5	20,1	24,2	95,6	145,2	207,2
Bãi thử nghiệm số 2 - Bãi san lấp sử dụng đất san lấp thông thường						
Bãi 2 lớp 1						
1	12,1			36,2		
2	9,5			28,5		
Bãi 2 lớp 2						
1	14,4			38,1		
2	11,6			34,2		
Bãi 2 lớp 3						
1	10,6			30,6		
2	11,5			35,4		

Qua quá trình thí nghiệm đánh giá chất lượng bãi san lấp có thể thấy rằng:

Độ chặt K của tất cả các lớp đều lớn hơn 90 %, đều đạt yêu cầu thiết kế. Ở cùng thời gian lu lèn, đối với bãi thử nghiệm sử dụng cấp phối 4SSA-1 có độ chặt dao động từ 90-95 %, đối với bãi thi công sử dụng cấp phối đối chứng thì độ chặt trung bình từ 91-94 %, từ đó có thể thấy rằng khả năng lu lèn của 02 loại vật liệu là tương đồng nhau.

Chiều dày của các lớp cơ bản hầu như phù hợp với cao độ thiết kế, nhiều điểm chênh lệch từ $\pm 0,5$ cm, tuy nhiên vẫn nằm trong sai số cho phép.

Giá trị CBR đo ngay sau khi thi công, bãi thử nghiệm sử dụng cấp phối 4SSA-1 cho giá trị CBR dao động trong khoảng từ 13-17 %, ở tuổi 7 và 28 ngày giá trị đo được lần lượt là từ (17 – 20) % và (20 – 24) %, trong khi đó bãi thi công sử dụng đất đồi giá trị CBR chỉ từ (10 – 11) %. Khi so sánh với yêu cầu theo TCVN 9436:2012 có thể thấy giá trị CBR đo được tại bãi thử nghiệm cao hơn rất nhiều so với mức yêu cầu tối thiểu về sức chịu tải CBR đối với nền cho đường cao tốc, cấp I và cấp II.

Cũng tương tự như CBR, giá trị Modun đàn hồi cũng có sự chênh lệch rõ ràng. Bãi thử nghiệm sử dụng cấp phối 4SSA-1 cho giá trị Modun đàn hồi E ban đầu dao động từ (87 - 95) MPa, ở tuổi 7 ngày và 28 ngày lần lượt là (139 – 145) MPa và (202 – 207) MPa, trong khi đó kết quả đo được tại bãi đối chứng sử dụng đất đồi giá trị đo được tương đối thấp chỉ dao động trong khoảng (30-35) MPa. Khi so sánh với TCVN 10379:2014, có thể thấy giá trị mô đun đàn hồi ở tuổi 28 ngày đều > 200 MPa và phù hợp với yêu cầu về độ bền cấp III của tiêu chuẩn này.

Về cơ bản các kết quả của các lớp trong cùng 1 bãi thi công có độ tương đồng nhau, các bãi thi công sử dụng cấp phối 4SSA-1 có khả năng đạt tính chất cơ lý tốt hơn so với loại đất đồi đối chứng, phù hợp với kết quả từ các nghiên cứu khác đã được công bố [16][17][18]. Từ đó chứng minh được khả năng áp dụng vào thực tế khi sử dụng loại vật liệu này cho mục đích san lấp công trình.

5. Kết luận

Từ kết quả của quá trình thi công và đánh giá, nghiên cứu thử nghiệm, có thể đưa ra một số kết luận như sau:

Hoàn toàn có thể sử dụng các vật chất nạo vét cửa sông cảng biển làm vật liệu san lấp công trình, bằng cách sử dụng các loại vật liệu gia cố như: xi măng, tro xỉ, xi thép... để thay thế vật liệu san lấp truyền thống;

Bãi thi công thử nghiệm sử dụng cấp phối 4SSA-1 có chất lượng tương đối tốt, đáp ứng với mục tiêu đặt ra, các kết quả đo được cho giá trị cao hơn tương đối nhiều so với bãi đối chứng;

Khi so sánh với các TCVN hiện hành, chất lượng bãi thử nghiệm sử dụng bùn thải nạo vét đã được gia cố hoàn toàn đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật về nền và móng đường giao thông theo TCVN 9436:2012 và TCVN 10379:2014 theo các mức khác nhau và hoàn toàn có thể sử dụng loại vật liệu này áp dụng rộng rãi vào các công trình thực tế.

Lời cảm ơn

Bài báo này công bố một số kết quả nghiên cứu của Đề tài “Nghiên cứu giải pháp sử dụng vật chất nạo vét từ các cửa sông, cảng biển làm vật liệu san lấp công trình trên địa bàn tỉnh Bà Rịa – Vũng Tàu”. Nhóm nghiên cứu chân thành cảm ơn Sở Khoa học và Công nghệ, Quỹ phát triển Khoa học và Công nghệ tỉnh Bà Rịa – Vũng Tàu đã phê duyệt đề tài nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

- [1]. CEDA & IADC, *Fact Sheet: Beneficial Use of Dredged Material*, 2019. [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://dredging.org/media/ceda/org/documents/resources/cedaonline/fact-sheet-beneficial-use-of-dredged-material-ceda-iadc-final.pdf>. [Truy cập ngày 16 tháng 4, 2025].
- [2]. International Association of Dredging Companies (IADC), *Dredged Material as a Resource*, 2017. [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://www.iadc-dredging.com/wp-content/uploads/2017/02/article-dredged-material-as-a-resource-112-1.pdf>. [Truy cập ngày 16 tháng 4, 2025].
- [3]. Anchor QEA, “Beneficial Use of Dredged Material: A Win-Win for Coastal Restoration Projects,” *Anchor QEA*, 2019. [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://www.anchorqea.com/news/beneficial-use-of-dredged-material-a-win-win-for-coastal-restoration-projects/>. [Truy cập ngày 16 tháng 4, 2025].
- [4]. U.S. Army Corps of Engineers, *Beneficial Use of Dredged Material*, 2021. [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://www.usace.army.mil/Missions/Civil-Works/Beneficial-Use-Program/>. [Truy cập ngày 16 tháng 4, 2025].
- [5]. Environmental Toxicology and Chemistry, “Beneficial Use of Dredged Material: A Sustainable Practice for Coastal Restoration,” *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 18, no. 5, pp. 1162–1170, 2021. DOI: 10.1002/etc.7727150. [Truy cập ngày 16 tháng 4, 2025].
- [6]. Wilk, C. M., “Innovations in stabilization treatment of dredged material placement areas,” trong *Proceedings of the Western Dredging Association and Texas A&M University Center for Dredging Studies' Dredging Summit and Expo 2015*, Texas A&M University, 2015, pp. 1–12.
- [7]. Bilgen, G. và Altuntas, O. F., “Sustainable re-use of waste glass, cement and lime treated dredged material as pavement material,” *Case Studies in Construction Materials*, vol. 18, e01815, 2022. DOI: 10.1016/j.cscm.2022.e01815. [Truy cập ngày 16 tháng 4, 2025].
- [8]. Kurtoglu, K. A., “Stabilization of dredged materials using cement and a pozzolanic additive,” *Journal of Environmental Engineering and Science*, vol. 15, no. 2, pp. 123–130, 2020. DOI: 10.1680/jensu.20.00017. [Truy cập ngày 16 tháng 4, 2025].
- [9]. Ghrici, M., “Effect of lime and natural pozzolana on dredged sludge engineering properties,” *Geotechnical Testing Journal*, vol. 33, no. 6, pp. 1–12, 2010. DOI: 10.1520/GTJ100393. [Truy cập ngày 16 tháng 4, 2025].
- [10]. Wang, D., Zentar, R., và Abriak, N. E., “Durability and swelling of solidified/stabilized dredged marine soils with Class-F fly ash, cement, and lime,” *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 35, no. 4, 2023. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003962. [Truy cập ngày 16 tháng 4, 2025].
- [11]. HR Wallingford, *Guidelines for the Beneficial Use of Dredged Materials*, 2014. [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://eprints.hrwallingford.com/386/1/SR488.pdf>. [Truy cập ngày 16 tháng 4, 2025].

- [12]. Geo-Solutions, *Fundamentals of Ground Improvement Engineering*, 2022. [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://www.geo-solutions.com/wp-content/uploads/2023/05/Fundamentals-of-Ground-Improvement-Engineering-1.pdf>. [Truy cập ngày 16 tháng 4, 2025].
- [13]. Soletanche Bachy, “Jet Grouting – A soil reinforcement and underpinning technique,” 2023. [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://www.soletanche-bachy.com/en/offer-portfolio/jet-grouting/>. [Truy cập ngày 16 tháng 4, 2025].
- [14]. Ngô Anh Quân, *Nghiên cứu công nghệ cứng hóa đất bùn nạo vét để sử dụng trong san lấp mặt bằng thay thế cát*, Báo cáo đề tài, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, 2019.
- [15]. Dương Thanh Qui và cộng sự “Báo cáo nghiên cứu giải pháp sử dụng vật chất nạo vét từ các cửa sông, cảng biển làm vật liệu san lấp công trình trên địa bàn tỉnh Bà Rịa – Vũng Tàu”, 2025.
- [16]. Ahmed Loudini, Mounsif Ibnoussina, Omar Witam, Ali Limam, Oksana Turchanina (2020), Valorisation of dredged marine sediments for use as road material, *Case Studies in Construction Materials*, 13 (2020) e00455
- [17]. US Army Corps of Engineers (2015), *Dredging and Dredged Material Management, Engineering and design*.
- [18]. Ahmed Loudini, Mounsif Ibnoussina, Omar Witam, Ali Limam, Oksana Turchanina (2020), Valorisation of dredged marine sediments for use as road material, *Case Studies in Construction Materials*, 13 (2020) e00455
- [19]. TCVN 10379 :2014 về Gia cố đất bằng chất kết dính vô cơ, hóa chất hoặc gia cố tổng hợp, sử dụng trong xây dựng đường - Bộ thi công và nghiệm thu
- [20]. TCVN 9436:2012 *Nền đường ô tô – Thi công và nghiệm thu*