

## Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <https://jmes.humg.edu.vn>

# Research on the application of dynamic cone penetration test in evaluating the effectiveness of soft soil treatment in some areas of Hai Duong province, Vietnam



Phong Van Nguyen <sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup> Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

<sup>2</sup> Research group of Engineering and Geoenvironment (EEG), Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 05<sup>th</sup> Sept. 2024

Revised 08<sup>th</sup> Dec. 2024

Accepted 23<sup>rd</sup> Dec. 2024

#### Keywords:

Dynamic cone penetration test,  
Quality assessment,  
Soft ground,  
Soil-cement piles.

### ABSTRACT

*In soft soil treatment, assessing the quality of on-site treatment is very important. Common field testing methods used in Vietnam include Cone Penetration Testing (CPT), Standard Penetration Testing (SPT), and Field Vane Testing (FVT). Dynamic cone penetration testing (DCP) testing is a simple and portable field method that allows for the assessment of soil homogeneity, density, or state and the determination of some physical and mechanical properties of the soil. This paper analyzes and systematizes the content, subjects, and requirements for evaluating the quality of soft ground treatment. It also assesses the applicability of the Dynamic cone penetration testing and presents some experimental results from Hai Duong province. The results show that the DCP test can evaluate homogeneity and point out unsatisfactory sections in soil-cement piles. For soft ground treated by cement - fly ash - marine sand piles (CFMS), Dynamic cone penetration testing on three groups of the piles with different binder contents (CKD = 5%, 10%, 15%) shows that the dynamic cone resistance ( $q_a$ ) increases with the binder content. Using DCP testing on the ground at three stages of construction, immediately after construction, and 10 days post-construction allowed for the determination of the effectiveness of each mechanical compaction and consolidation process for each type of soil.*

Copyright © 2025 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

\*Corresponding author

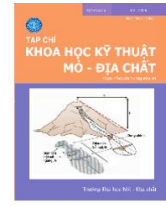
E - mail: [nguyenvanphong@humg.edu.vn](mailto:nguyenvanphong@humg.edu.vn)

DOI: 10.46326/JMES.2025.66(1).02



## Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <https://tapchi.humg.edu.vn>



# Nghiên cứu áp dụng phương pháp thí nghiệm xuyên động trong đánh giá hiệu quả xử lý nền đất yếu bằng chất kết dính tại một số khu vực tỉnh Hải Dương

Nguyễn Văn Phóng<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

<sup>2</sup> Nhóm nghiên cứu Địa chất công trình và Địa môi trường - EEG, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

### THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 05/9/2024

Sửa xong 08/12/2024

Chấp nhận đăng 23/12/2024

Từ khóa:

Cọc đất - xi măng,

Đánh giá chất lượng,

Nền đất yếu,

Thí nghiệm xuyên động.

### TÓM TẮT

Trong xử lý nền đất yếu, việc kiểm tra, đánh giá chất lượng của công tác xử lý tại hiện trường là rất quan trọng. Các phương pháp thí nghiệm kiểm tra tại hiện trường thường dùng ở Việt Nam là thí nghiệm xuyên tĩnh (CPT), xuyên tiêu chuẩn (SPT), cắt cánh (FVT). Thí nghiệm xuyên động (DCP) là phương pháp thí nghiệm hiện trường đơn giản, gọn nhẹ, cho phép đánh giá độ đồng nhất, độ chặt hoặc trạng thái và xác định được một số chỉ tiêu cơ lý của đất. Bài báo phân tích, hệ thống hóa nội dung, đối tượng và yêu cầu của công tác đánh giá chất lượng xử lý nền đất yếu, đồng thời đánh giá khả năng ứng dụng thí nghiệm DCP và một số kết quả thực nghiệm tại tỉnh Hải Dương. Kết quả cho thấy, thí nghiệm DCP đánh giá được độ đồng nhất và chỉ ra được những vị trí không đạt yêu cầu trong cọc đất - xi măng. Với nền đất yếu xử lý bằng cọc cát biển - xi măng - tro bay (CFMS), thí nghiệm DCP ở ba nhóm cọc có hàm lượng chất kết dính (CKD) khác nhau (CKD = 5%, 10%, 15%) cho thấy sức kháng xuyên động ( $q_d$ ) của cọc tăng theo hàm lượng chất kết dính; Sử dụng thí nghiệm DCP trong nền đất ở ba thời điểm là trước thi công, ngay sau thi công và sau 10 ngày thi công đã xác định được hiệu quả của từng quá trình nén chặt cơ học và cố kết ở từng loại đất.

© 2025 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

\*Tác giả liên hệ

E - mail: [nguyenvanphong@humg.edu.vn](mailto:nguyenvanphong@humg.edu.vn)

DOI: 10.46326/JMES.2025.66(1).02

## 1. Mở đầu

Nền đất tại các khu vực phát triển kinh tế ở nước ta thường là nền đất yếu. Khi xây dựng công trình có tải trọng vừa và nhỏ trên nền đất yếu thường phải tiến hành xử lý nền (cải tạo hoặc gia cố) trước khi xây dựng (Tạ và nnk., 2022a). Trong xử lý nền đất yếu, việc kiểm tra, đánh giá chất lượng nền xử lý là một khâu rất quan trọng, đảm bảo chất lượng và hiệu quả của phương án xử lý. Nội dung, đối tượng và phương pháp kiểm tra, đánh giá chất lượng nền xử lý phụ thuộc vào giải pháp xử lý, nhưng chưa được chỉ dẫn đầy đủ, hệ thống trong các tiêu chuẩn, tài liệu chuyên môn nên khó khăn khi áp dụng thực tế. Trong đó, phương pháp kiểm tra, đánh giá chất lượng nền xử lý được đề cập trong các tài liệu trên bao gồm nhóm phương pháp thí nghiệm trong phòng và nhóm phương pháp thí nghiệm hiện trường. Các phương pháp thí nghiệm hiện trường thường dùng ở nước ta là thí nghiệm xuyên tĩnh (CPT), xuyên tiêu chuẩn (SPT), cắt cánh (FVT) (Nguyễn và nnk., 2023). Mỗi phương pháp đều có những hạn chế nhất định khi áp dụng. Thí nghiệm CPT thường gặp khó khăn khi xuyên vào cọc đất - xi măng, thiết bị cồng kềnh, phải dùng neo hoặc đối tải khi xuyên nên có tác động đáng kể đến nền xử lý. Thí nghiệm SPT và FVT không thể thí nghiệm liên tục và luôn đi kèm với công tác khoan nên cũng có những tác động nhất định đến nền xử lý khi khoan.

Thí nghiệm xuyên động (DCP) là phương pháp thí nghiệm hiện trường đơn giản, gọn nhẹ, cho phép đánh giá độ đồng nhất, độ chặt hoặc trạng thái và xác định được một số chỉ tiêu cơ lý của đất (Lê, 2014; Mohammadi và nnk., 2008; Vakili và nnk., 2021). Trong xử lý nền đất yếu, yêu cầu của công tác đánh giá chất lượng xử lý nền thường cần tới sự so sánh tương đối các tiêu chí đánh giá ở các thời điểm khác nhau. Thí nghiệm DCP với đặc điểm gọn nhẹ, chi phí thấp, ít tác động đến nền nên thích hợp sử dụng trong các trường hợp cần đánh giá theo giai đoạn, khối lượng thí nghiệm lớn hoặc sử dụng phương pháp khác không hiệu quả (McElvaney, 1991).

Nội dung bài báo phân tích làm rõ nội dung, đối tượng và yêu cầu của công tác đánh giá chất lượng nền xử lý, làm cơ sở đánh giá khả năng ứng dụng thí nghiệm DCP, đồng thời đưa ra một số kết quả thực nghiệm tại tỉnh Hải Dương.

## 2. Công tác đánh giá chất lượng nền xử lý

### 2.1. Các giải pháp xử lý và các quá trình nâng cao tính chất xây dựng nền đất yếu

Nền đất yếu là nền đất không đáp ứng đầy đủ các yêu cầu kỹ thuật khi xây dựng công trình. Các yêu cầu kỹ thuật bao gồm độ ổn định, độ lún và lượng thấm mất nước (với công trình thủy công), thường liên quan đến độ bền, tính biến dạng và tính thấm của đất... (gọi chung là tính chất xây dựng). Quá trình xử lý nền đất yếu làm thay đổi tính chất xây dựng của đất yếu hoặc trạng thái ứng suất theo hướng có lợi và thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật khi xây dựng công trình.

Hiện nay, trên thế giới cũng như ở Việt Nam đang áp dụng nhiều giải pháp xử lý nền đất yếu và cũng có nhiều cách phân loại tùy theo mục đích. Theo bản chất của quá trình xử lý nền đất yếu, có thể chia các giải pháp xử lý nền đất yếu thành 4 nhóm:

1) Nhóm 1 - Phân bố lại ứng suất. Nhóm phương pháp này không cải tạo tính chất xây dựng (độ bền, tính nén lún) của đất yếu mà thay thế một phần đất yếu (phạm vi gần móng, có ứng suất phụ thêm lớn) bằng đất tốt sao cho ứng suất phân bố xuống đất yếu đủ nhỏ, không gây mất ổn định như phương pháp đệm cát, đệm vật liệu rời; hoặc tạo áp lực chống trượt làm tăng hệ số ổn định của nền như phương pháp bệ phản áp;

2) Nhóm 2 - Cải tạo kỹ thuật đất đá. Bản chất của nhóm phương pháp này là làm chặt đất nhằm nâng cao tính chất xây dựng của đất yếu như: các phương pháp làm chặt đất tức thời bằng cọc tre, cọc tràm, rung, nổ mìn, đầm, đầm trọng lực; các phương pháp thoát nước lỗ rỗng nhằm tăng nhanh quá trình cố kết thấm (nén cố kết) bằng giếng cát, bắc thấm;

3) Nhóm 3 - Sử dụng chất kết dính (phương pháp hoá học) như ximăng hoá, vôi hoá, silicat hoá, bitum hoá. Nhóm phương pháp này sử dụng chất kết dính để cải tạo tính chất xây dựng của đất yếu (khi đưa chất kết dính vào trong đất yếu) hoặc để gia cố nền đất (cọc đất - xi măng, cọc cát - xi măng);

4) Nhóm 4 - Các phương pháp vật lý như nhiệt, điện, băng hoá. Nhóm phương pháp này sử dụng các nguyên lý vật lý để cải tạo (nâng cao) tính chất xây dựng của đất yếu.

Như vậy, trong các nhóm phương pháp trên chỉ Nhóm 1 không cải tạo tính chất xây dựng của

đất yếu (không làm đất yếu tốt lên), còn lại ba nhóm sau đều làm tăng tính chất xây dựng của đất yếu. Xét về mặt diễn biến theo thời gian của quá trình nâng cao tính chất xây dựng của đất yếu, có thể chia ra hai quá trình là quá trình gia tăng tức thời và quá trình gia tăng theo thời gian. Quá trình gia tăng tức thời tính chất xây dựng của đất yếu chủ yếu là do quá trình nén chặt tức thời, còn quá trình gia tăng theo thời gian xảy ra do cố kết thấm hoặc các quá trình hóa lý (khi sử dụng phương pháp hóa học, vật lý).

## 2.2. Đối tượng, nội dung và phương pháp tiến hành đánh giá chất lượng nền xử lý

Các phương pháp xử lý nền đất yếu đều được xây dựng trên cơ sở lý lý thuyết và thực nghiệm. Tuy nhiên, chất lượng thực tế của giải pháp xử lý chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố liên quan đến sự bất đồng nhất của nền đất, điều kiện thi công, sự phù hợp của quy trình áp dụng cũng như sự tuân thủ quy trình. Do đó, công tác kiểm tra, đánh giá là một phần không thể thiếu trong công tác xử lý nền đất yếu, gồm kiểm tra việc thực hiện quy trình và đánh giá chất lượng nền xử lý (hiệu quả của giải pháp).

Trên cơ sở phân tích ở mục 2.1, việc đánh giá chất lượng nền xử lý cần xác định: đối tượng, nội dung, phương pháp, khối lượng và thời gian đánh giá. Đối tượng đánh giá có hai đối tượng là đất yếu được cải tạo và kết cấu gia cố (đệm cát, bệ phản áp, cọc cát, giếng cát, cọc đất xi măng). Nội dung đánh

giá tùy thuộc đối tượng. Với đất yếu, nội dung đánh giá cần khẳng định được mức độ gia tăng tính chất xây dựng của đất yếu, chủ yếu là độ bền và tính biến dạng (nén lún), đôi khi cũng được đánh giá qua các chỉ tiêu vật lý khác như độ chặt, độ ẩm, khối lượng thể tích, hệ số rỗng. Với kết cấu gia cố, nội dung đánh giá thường là độ chặt (đệm cát, bệ phản áp, cọc cát, giếng cát) và cường độ (cọc đất xi măng, cọc cát xi măng). Phương pháp đánh giá chất lượng nền xử lý phụ thuộc vào giải pháp xử lý, thường được chỉ dẫn trong các tiêu chuẩn thiết kế xử lý nền đất yếu (TCVN 9355:2012, TCVN 9403:2012, TCVN 9906:2014), có thể chia thành hai loại là thí nghiệm trong phòng và thí nghiệm hiện trường (Bảng 1). Khối lượng các dạng công tác kiểm tra, đánh giá phụ thuộc vào quy mô và tầm quan trọng của công trình. Thời gian đánh giá có thể chia thành ba thời điểm là trước (ký hiệu (0)), ngay sau thi công (1) và sau một thời gian thi công (2) nhằm đánh giá được quá trình gia tăng tính chất xây dựng của đất yếu. Trên cơ sở phân tích bản chất của các phương pháp xử lý nền đất yếu, có thể xác định được tiêu chí, phương pháp và thời điểm đánh giá như tổng hợp trong Bảng 1.

## 3. Thí nghiệm DCP và khả năng ứng dụng trong đánh giá chất lượng nền sau xử lý

### 3.1. Phương pháp xuyên động DCP và ứng dụng trong khảo sát địa kỹ thuật

Bảng 1. Nội dung, phương pháp và thời điểm đánh giá nền xử lý.

Đối tượng	Tiêu chí đánh giá	Các phương pháp thí nghiệm kiểm tra, đánh giá	Thời điểm triển khai đánh giá		
			(0)	(1)	(2)
1) Đất yếu được cải tạo					
Đất loại sét	Độ bền, tính nén lún, đặc trưng cố kết	Thí nghiệm trong phòng, thí nghiệm hiện trường CPT, FVT, DCP, nén tĩnh nền	X	X	X
Đất loại cát	Độ chặt, $E_0$ , $R_0$	Thí nghiệm hiện trường SPT, CPT, DCP, nén tĩnh nền	X	X	
2) Kết cấu gia cố					
Đệm cát	Độ chặt, $E_0$ , $R_0$	Thí nghiệm độ chặt hiện trường, SPT, CPT, DCP		X	
Bệ phản áp	Độ chặt	Thí nghiệm độ chặt hiện trường, DCP		X	
Cọc cát, giếng cát	Độ chặt	Thí nghiệm CPT, DCP		X	
Cọc đất - xi măng, cọc cát - xi măng.	Cường độ kháng nén theo thời gian.	Thí nghiệm cường độ trong phòng, thí nghiệm CPT, DCP		X	X

Thí nghiệm DCP là một phương pháp thí nghiệm hiện trường, được sử dụng nhằm xác định sức kháng xuyên động ( $q_d$ ) với mũi xuyên hình chóp nón. Thông thường, thí nghiệm DCP được sử dụng kết hợp với khoan để xác định ranh giới địa tầng và đánh giá mức độ đồng nhất của các lớp đất. Thí nghiệm này cũng cho phép xác định các đặc tính về cường độ và biến dạng của đất thông qua các mối tương quan thích hợp. Phương pháp được đánh giá là có hiệu quả tốt trong đất loại cát (Lê, 2014). Quy trình thí nghiệm có thể theo tiêu chuẩn CH 448-72 hoặc tiêu chuẩn Eurocode-7 (1997), EN ISO 22476-3 (2005).

Thí nghiệm sử dụng búa có khối lượng  $m$  được nâng lên độ cao  $H$  (các thiết bị phổ thông thường có  $H = 50$  cm) và thả rơi xuống đóng vào để ấn mũi xuyên đi vào đất. Theo khối lượng búa, thiết bị DCP được chia thành 4 loại: loại nhẹ (10 kg), loại vừa (30 kg), loại nặng (50 kg) và loại rất nặng (63,5 kg) (Roy, 2005). Khả năng kháng xuyên động được định nghĩa là số búa cần thiết ( $n$ ) để đẩy mũi xuyên đi vào đất một độ sâu nhất định ( $s = 10$  cm). Các đại lượng cần được xác định trong thí nghiệm DCP là cường độ sức kháng xuyên động giả định ( $N$ ) và sức kháng xuyên động đơn vị ( $q_d$ ). Theo CH 448-72,  $N$  và  $q_d$  được xác định theo các biểu thức (1) và (2).

$$N = \frac{10n}{s(\alpha + \beta - 1)} \quad (1)$$

Trong đó:  $n$  - số nhát búa cần thiết để đưa mũi xuyên đi được một khoảng  $s$  (thường  $s = 10$  cm);  $\alpha$  - hệ số hiệu chỉnh ma sát, tra theo Bảng 2;  $\beta$  - hệ số hiệu chỉnh trọng lượng cần, tra theo Bảng 2.

Bảng 2. Giá trị các hệ số hiệu chỉnh  $\alpha$ ,  $\beta$  theo Durante (Lê, 2014).

Khoảng độ sâu xuyên, m	Hệ số hiệu chỉnh $\alpha$	Hệ số hiệu chỉnh $\beta$
0÷3	1,00	1,00
3÷6	1,13	1,08
6÷9	1,26	1,17
9÷12	1,39	1,24
12÷15	1,51	1,30
15÷18	1,64	1,37
18÷21	1,77	1,42

$$q_d = N \cdot \Pi_o \Phi \frac{(m + e^2 \cdot m')}{(m + m')} \quad (2)$$

Trong đó:  $\Pi_o$  - hệ số xét đến ảnh hưởng của

thiết bị và chiều cao rơi búa (bằng 30 kG/cm với loại nhẹ, 110 kG/cm với loại trung bình, 280 kG/cm với loại nặng);  $m$  - trọng lượng búa, kG;  $m'$  - trọng lượng của thiết bị tác động lên đầu xuyên, kG;  $e$  - hệ số phục hồi năng lượng đàn hồi:  $e = 0,56$ ;  $\Phi$  - hệ số xét đến ảnh hưởng của ma sát giữa cần và đất, xác định theo Bảng 3;

Bảng 3. Bảng tra hệ số  $\Phi$ .

Chiều sâu xuyên, m	0,5÷1,5	1,5÷4	4÷8	8÷12	12÷16	16÷20
$\Phi$	1	0,92	0,84	0,76	0,68	0,60

Kết quả thí nghiệm DCP được biểu diễn trên biểu đồ  $q_d$  theo độ sâu. Dựa trên các biểu đồ này, có thể đánh giá được mức độ đồng nhất của các lớp đất và lớp chịu lực, kết hợp với khoan xác định ranh giới địa tầng. Ngoài ra, sử dụng kết quả xuyên có thể xác định một số đặc trưng cơ lý của một số loại đất (chủ yếu là đất loại cát) như sức chịu tải quy ước ( $R_o$ ), mô đun tổng biến dạng ( $E_o$ ), độ chặt của cát (Lê, 2014).

Sức chịu tải quy ước của đất cát có thể được xác định theo Bảng 4. Mô đun tổng biến dạng của đất loại sét được xác định theo biểu thức (3), với đất loại cát  $E_o$  được xác định theo Bảng 5. Độ chặt của đất loại cát được xác định theo  $q_d$  như Bảng 6.

$$E_o = 6q_d \quad (3)$$

Bảng 4. Xác định sức chịu tải của đất cát theo  $q_d$  (SNip - 448 - 72).

Sức kháng xuyên động đơn vị, $q_d$ , kG/cm <sup>2</sup>	Sức chịu tải quy ước $R_o$ , kG/cm <sup>2</sup>
10	1,0
30	2,5
50	4,0
70	5,5

Bảng 5. Mô đun tổng biến dạng của cát theo  $q_d$  (SNip - 448 - 72).

Sức kháng xuyên động đơn vị, $q_d$ , kG/cm <sup>2</sup>	Mô đun biến dạng $E$ , kG/cm <sup>2</sup>		
	Hạt to và hạt vừa	Hạt nhỏ	Hạt mịn
20	160÷200	130	80
35	210÷260	190	130
70	340÷390	290	220
110	440÷490	350	280
140	500÷550	400	320
175	550÷600	450	350

Bảng 6. Phân loại độ chặt của cát theo  $q_d$  (SNip - 448-72).

Thành phần và trạng thái của cát	$q_d$ , kG/cm <sup>2</sup>	Độ chặt
Cát có kết cấu tự nhiên hạt to và vừa, không phụ thuộc độ ẩm	< 35 35 ÷ 125 > 125	Rời chặt vừa chặt
Hạt nhỏ, ẩm ít	< 30 30 ÷ 110 > 110	Rời chặt vừa chặt
Hạt nhỏ ẩm ít và hạt nhỏ bão hoà nước	< 20 20 ÷ 85 > 85	Rời chặt vừa chặt
Cát mới đắp dưới nước (sau 1 tháng) hạt nhỏ, hạt vừa, ẩm ít	< 35 35 ÷ 110 > 110	Rời chặt vừa chặt
Hạt nhỏ và hạt vừa bão hoà nước	< 20 20 ÷ 85 > 85	Rời chặt vừa chặt

### 3.2. Khả năng ứng dụng DCP trong đánh giá chất lượng xử lý nền đất yếu

Nhiệm vụ đối với công tác đánh giá chất lượng nền xử lý là phải cung cấp đủ thông tin cho việc đánh giá hiệu quả của phương pháp xử lý. Trong đó, thông tin về tính chất xây dựng của đất yếu và chất lượng của kết cấu gia cố là các thông tin không thể thiếu. Các phương pháp thí nghiệm hiện trường như CPT, SPT, FVT là các phương pháp được dùng phổ biến hiện nay. Sử dụng các phương pháp này có một số hạn chế như tốn kém, thiết bị cồng kềnh, thi công phức tạp và việc thi công có tác động đáng kể tới nền đất yếu do phải khoan (SPT, FVT) hoặc neo (CPT).

Thí nghiệm DCP có ưu điểm gọn nhẹ, thi công đơn giản, giá thành thấp, cho phép xác định được một số chỉ tiêu tính chất xây dựng của đất yếu và độ chặt, độ đồng nhất, cường độ của kết cấu gia cố (như đã nêu ở mục 3.1). Mặt khác, có thể tiến hành thí nghiệm ở nhiều thời điểm do lợi thế gọn nhẹ, đơn giản nên cho phép đánh giá được mức độ gia tăng tính chất xây dựng của đất yếu và mức độ gia tăng cường độ của kết cấu gia cố theo thời gian. Tuy nhiên, do thí nghiệm DCP không trực tiếp xác định được các chỉ tiêu tính chất của đất nên khi sử dụng cần có sự kết hợp với các phương pháp thí nghiệm khác như thí nghiệm cắt, nén trong phòng, thí nghiệm cắt cánh hiện trường.

## 4. Một số kết quả áp dụng tại Hải Dương

Việc áp dụng thí nghiệm DCP đánh giá chất lượng nền xử lý được triển khai tại hai địa điểm theo ba nội dung đánh giá (Bảng 7), bao gồm: chất lượng cải tạo đất yếu, chất lượng cọc cát biển - xi măng - tro bay (CFMS), cường độ của cọc đất xi măng. Thiết bị thí nghiệm DCP được sử dụng là loại 10 kg (mũi xuyên có góc đỉnh 90°) của hãng Tecnotest (Italy). Quy trình thí nghiệm DCP tuân theo tiêu chuẩn SNip 448-72. Trong quá trình thí nghiệm, tất cả số liệu thí nghiệm (số búa/10 cm) được ghi lại và được sử dụng để xác định sức kháng xuyên động  $q_d$  theo biểu thức số (2). Kết quả thí nghiệm được biểu diễn dưới dạng đồ thị sự biến đổi của  $q_d$  theo độ sâu. Tùy theo yêu cầu kiểm tra, đánh giá mà việc triển khai và phân tích kết quả thí nghiệm sẽ khác nhau.

Bảng 7. Địa điểm, giải pháp xử lý và yêu cầu đánh giá bằng thí nghiệm DCP.

Ký hiệu	Địa điểm	Giải pháp xử lý nền đất yếu	Yêu cầu đánh giá
VT1	Khu Công nghiệp Lai Cách, tỉnh Hải Dương	Cọc cát biển - xi măng - tro bay (CFMS)	- Chất lượng cải tạo đất yếu; - Chất lượng cọc CFMS
VT2	Khu vực bãi xỉ, Nhà máy Nhiệt điện Hải Dương, Kinh Môn, Hải Dương	Cọc đất xi măng (CDM)	Chất lượng cọc đất xi măng

### 4.1. Đánh giá chất lượng xử lý đất yếu bằng cọc CFMS tại VT1

#### 4.1.1. Phương pháp tiến hành

Xử lý nền đất yếu bằng cọc CFMS là một phương pháp mới được đề xuất theo đề tài mã số RD 40-20 (Tạ và nnk., 2021). Cơ sở của phương pháp dựa trên ba quá trình là gia tăng cường độ của cọc CFMS, nén chặt tức thời (do cọc chiếm thể tích lỗ rỗng của đất) và nén chặt cố kết (do nước lỗ rỗng trong đất thấm vào cọc tham gia vào phản ứng hóa học với CKD) (Tạ và nnk., 2022b). Để đánh giá hiệu quả của phương pháp, đề tài đã triển khai thi công cọc thử tại VT1. Yêu cầu đặt ra là xác định hiệu quả của mỗi quá trình trên tại thực địa.

Địa tầng tại vị trí nghiên cứu đến độ sâu 7,0 m được mô tả trong Bảng 8. Mực nước dưới đất đo được tại thời điểm khảo sát ở độ sâu 0,9 m. Trong địa tầng có 2 lớp đất yếu là lớp 2 và lớp 3. Các cọc CFMS được thi công theo mạng lưới hình vuông với khoảng cách giữa các cọc là  $D = 900$  mm.

Bảng 8. Đặc điểm địa tầng vị trí VT1.

Độ sâu phân bố, m	Mô tả
0,0 ÷ 0,4	Lớp 1: Cát lấp.
0,4 ÷ 1,2	Lớp 2: Sét pha, xám ghi, dẻo chảy có chứa hữu cơ.
1,2 ÷ 3,2	Lớp 3: Sét, màu xám ghi, dẻo chảy.
3,2 ÷ 7,0	Lớp 4: Cát pha, xám đen, lẫn vỏ sò, trạng thái dẻo.

Cọc có đường kính  $d = 300$  mm, được chia thành 3 nhóm theo hàm lượng chất kết dính (CKD) gồm xi măng (XM) và tro bay (TB) khác nhau: Nhóm 1 có CKD = 5%, tỷ lệ TB/CKD = 0%;

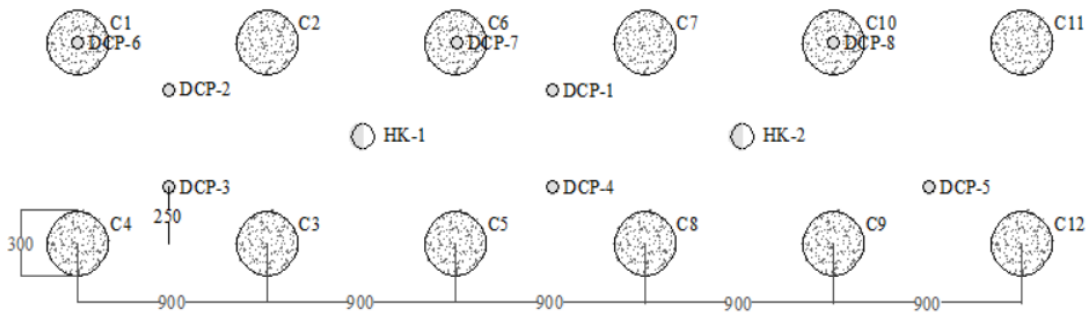
Nhóm 2 có CKD = 10%, TB/CKD = 10%; Nhóm 3 có CKD = 15%, TB/CKD = 20%. Độ sâu xử lý đến hết độ sâu phân bố đất yếu (3,2 m). Hiệu quả xử lý nền đất yếu được đánh giá bằng thí nghiệm DCP kết hợp với khoan lấy mẫu thí nghiệm.

Sơ đồ bố trí các dạng công tác được biểu diễn trên Hình 1, bao gồm: 12 cọc CFMS (ký hiệu từ C1 đến C12); 02 hố khoan (HK-1, HK2) và 8 hố xuyên DCP (từ DCP-1 đến DCP-8). Trong đó, thí nghiệm DCP được tiến hành trong nền và trong cọc theo ba thời điểm với mục đích, nhiệm vụ khác nhau như mô tả trong Bảng 9.

4.1.2. Kết quả đánh giá

a) Đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng chất kết dính đến cường độ cọc CFMS

Việc đánh giá ảnh hưởng của chất kết dính đến cường độ cọc CFMS được thực hiện bằng thí nghiệm DCP sau 10 ngày thi công (thời điểm (2)) trong ba nhóm cọc có hàm lượng CKD khác nhau:



Hình 1. Sơ đồ bố trí cọc CFMS và khoan, xuyên DCP tại VT1.

Bảng 9. Vị trí và mục đích của thí nghiệm DCP.

TT	Ký hiệu	Vị trí	Thời điểm	Mục đích
1	DCP-1	Nền đất yếu	(0)	Xác định $q_d$ của nền trước xử lý.
2	DCP-2	Nền đất yếu	(1)	Xác định $q_d$ của đất nền ngay sau xử lý, đánh giá hiệu quả nén chặt tức thời.
3	DCP-3	Nền đất yếu	(2)	Xác định $q_d$ của đất nền sau 10 ngày xử lý trong nhóm cọc có 5%CKD (Nhóm 1), đánh giá hiệu quả nén cố kết theo hàm lượng CKD.
4	DCP-4	Nền đất yếu	(2)	Xác định $q_d$ của đất nền sau 10 ngày xử lý trong nhóm cọc có 10%CKD (Nhóm 2), đánh giá hiệu quả nén cố kết theo hàm lượng CKD.
5	DCP-5	Nền đất yếu	(2)	Xác định $q_d$ của đất nền sau 10 ngày xử lý trong nhóm cọc có 15%CKD (Nhóm 3), đánh giá hiệu quả nén cố kết theo hàm lượng CKD.
6	DCP-6	Cọc CFMS	(2)	Xác định $q_d$ của cọc Nhóm 1 sau 10 ngày xử lý, đánh giá ảnh hưởng của CKD đến cường độ cọc.
7	DCP-7	Cọc CFMS	(2)	Xác định $q_d$ của cọc Nhóm 2 sau 10 ngày xử lý, đánh giá ảnh hưởng của CKD đến cường độ cọc.
8	DCP-8	Cọc CFMS	(2)	Xác định $q_d$ của cọc Nhóm 3 sau 10 ngày xử lý, đánh giá ảnh hưởng của CKD đến cường độ cọc.

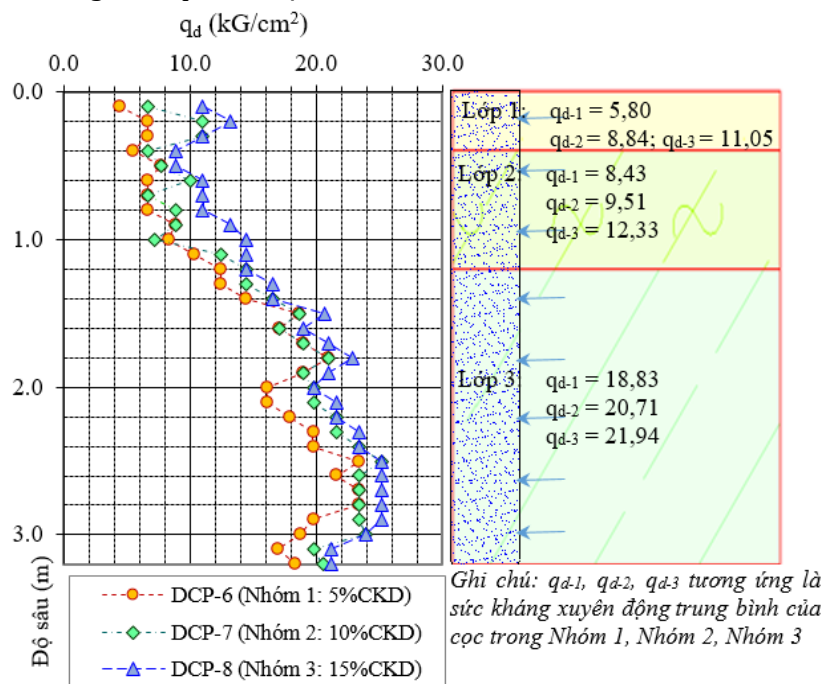
DCP-6 trong cọc Nhóm 1 (CKD = 5%) DCP-7 trong Nhóm 2 (CKD = 10%); DCP-8 trong Nhóm 3 (CKD = 15%). Tổng hợp kết quả thí nghiệm DCP trong các nhóm cọc được biểu diễn trong Hình 2.

Kết quả biểu diễn trên Hình 2 cho thấy, sức kháng xuyên động  $q_d$  của cọc tăng theo hàm lượng chất kết dính (%CKD) và có xu hướng tăng theo độ sâu. Sự thay đổi  $q_d$  trong cọc CFMS theo độ sâu liên quan đến độ chặt của vật liệu cọc khi thi công và lượng nước lỗ rỗng thoát ra từ các lớp đất yếu. Bởi vì sự gia tăng cường độ của cọc theo thời gian phụ thuộc vào lượng nước tham gia vào phản ứng hóa học với CKD trong cọc. Mặt khác, lượng nước từ đất yếu thấm vào cọc phụ thuộc vào loại đất yếu và áp lực nước lỗ rỗng. Sự gia tăng  $q_d$  theo hàm lượng chất kết dính trong các lớp đất được minh

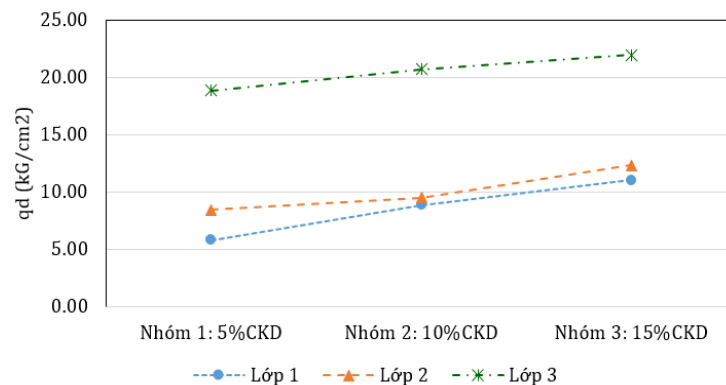
họa trong Hình 3 cho thấy rõ mức độ gia tăng cường độ cọc theo hàm lượng CKD.

b) *Đánh giá hiệu quả của quá trình nén chặt tức thời*

Thi công cọc CFMS là đóng ống thép bịt đầu vào nền đất, làm thể tích lỗ rỗng của đất giảm, nền đất bị nén chặt tức thời trong quá trình thi công. Dưới tác dụng của áp lực nén tức thời, đất được nén chặt một phần và áp lực nước lỗ rỗng tăng dần tới sức kháng xuyên tăng. Hiệu quả của quá trình nén chặt tức thời đất yếu được đánh giá dựa vào việc so sánh kết quả thí nghiệm hai hố xuyên DCP-1 và DCP-2 (vị trí như Hình 1). Kết quả cho thấy sức kháng xuyên động  $q_d$  tăng 9,5% trong lớp 2, và



Hình 2. Kết quả thí nghiệm DCP trong các nhóm cọc.



Hình 3. Sự gia tăng sức kháng xuyên động theo hàm lượng chất kết dính trong các lớp đất.



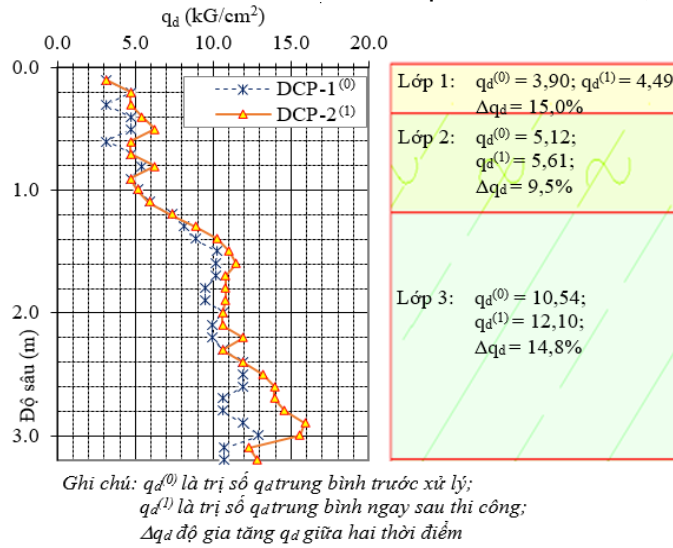
tăng 14,8% trong lớp 3. Kết quả được biểu diễn chi tiết trong Hình 4.

c) Đánh giá hiệu quả của quá trình nén cố kết

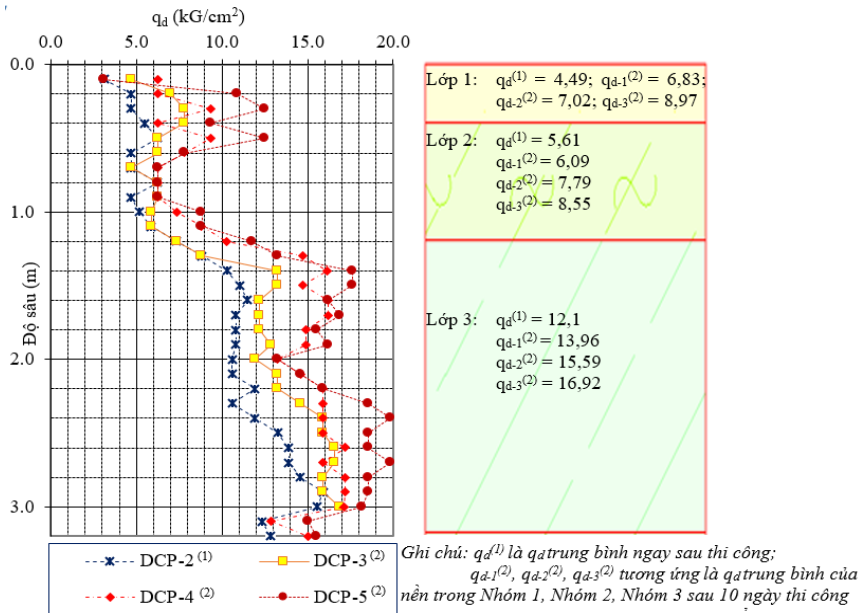
Quá trình nén cố kết xảy ra khi nước lỗ rỗng trong đất yếu thấm vào cọc, làm giảm thể tích lỗ rỗng và đất được nén chặt. Quá trình này phụ thuộc vào thời gian và hàm lượng chất kết dính trong cọc. Do đó, việc đánh giá hiệu quả của quá trình cố kết được thực hiện bằng cách so sánh kết quả thí nghiệm DCP trong nền đất ở các nhóm cọc có %CKD khác nhau tại thời điểm ngay sau thi công (DCP-2) và sau thi công 10 ngày. Sau thời gian 10 ngày thi công cọc CFMS, tiến hành thí

nghiệm 3 hố xuyên DCP-3, DCP-4, DCP-5 ở 3 nhóm cọc theo sơ đồ Hình 1. Kết quả cho thấy: Nhóm 1 (5%CKD) có  $q_d$  tăng 52,1% trong Lớp 1, 8,6% trong Lớp 2, và tăng 15,3% trong Lớp 3; Nhóm 2 (10%CKD) có  $q_d$  của Lớp 1 tăng 56,5%, Lớp 2 tăng 38,9%, Lớp 3 tăng 28,8%; Nhóm 3 (15%CKD) có  $q_d$  của Lớp 1 tăng đến 100,0%, Lớp 2 tăng 52,4%, Lớp 3 tăng 39,8%. Kết quả được biểu diễn chi tiết trong Hình 5.

Như vậy, việc thí nghiệm DCP ở ba thời điểm khác nhau cho phép đánh giá hiệu quả của mỗi quá trình gia tăng sức kháng xuyên động, bản chất là quá trình gia tăng tính chất xây dựng của đất. Từ số liệu trên Hình 4 và 5, hiệu quả của mỗi quá trình



Hình 4. Kết quả thí nghiệm DCP trong nền đất trước <sup>(0)</sup> và ngay sau xử lý <sup>(1)</sup>.



Hình 5. Kết quả thí nghiệm DCP ngay sau xử lý <sup>(1)</sup> và sau 10 ngày thi công <sup>(2)</sup>.

(nén chặt tức thời và cố kết) được lượng hóa tương đối theo phần trăm so với trạng thái ban đầu và biểu diễn chi tiết trong Bảng 10. Theo đó, ở hàm lượng CKD =5% hiệu quả của các quá trình nén chặt tức thời và cố kết (sau 10 ngày) tương đương nhau; khi hàm lượng CKD bằng 10% và 15% thì quá trình cố kết chiếm ưu thế rõ rệt (lớn hơn từ 2÷5 lần so với nén chặt tức thời).

*Bảng 10. Tổng hợp kết quả đánh giá hiệu quả của mỗi quá trình nén chặt đất.*

Loại đất	Hiệu quả nén chặt tức thời (%)	Hiệu quả nén chặt cố kết theo hàm lượng CKD trong cọc sau 10 ngày xử lý (%).		
		5%CKD	10%CKD	15%CKD
Lớp 2	9,5	8,6	38,9	52,4
Lớp 3	14,8	15,3	28,8	39,8

**4.2. Đánh giá cường độ của cọc đất xi măng tại VT2**

**4.2.1. Thông tin dự án và yêu cầu đánh giá**

Dự án Nhà máy nhiệt điện Hải Dương được

*Bảng 11. Tổng hợp khối lượng thí nghiệm DCP kiểm tra chất lượng cọc CDM.*

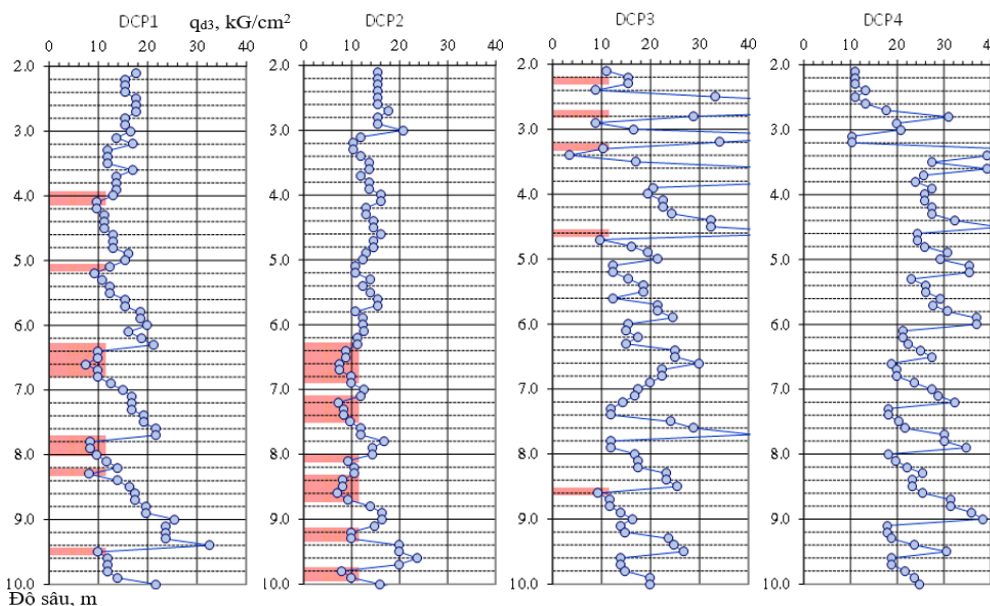
Ký hiệu cọc CDM	Chiều dài cọc, m	Hố xuyên động		Sức kháng xuyên động $q_{d3}$ , kG/cm <sup>2</sup>				Đoạn cọc không đạt	
		Ký hiệu	Độ sâu, m	Max	Min	Trung bình	Độ lệch chuẩn	Chiều dài, m	Tỷ lệ, %
CQ-14	8,0	DPT1	10,0	32,6	7,5	15,2	4,6	1,30	15,9
CQ-16	8,0	DPT2	10,0	23,7	7,0	13,1	3,5	1,90	23,2
CQ-18	8,0	DPT3	10,0	72,9	3,4	22,0	12,4	0,50	6,1
CQ-20	8,0	DPT4	10,0	46,1	10,2	25,1	7,6	0,00	0,0

triển khai tại huyện Kinh Môn, tỉnh Hải Dương, Việt Nam. Khu vực bãi xỉ của Nhà máy nằm trên nền đất yếu và được xử lý bằng cọc đất - xi măng (CDM). Trước khi thi công đại trà, đơn vị thi công tiến hành thi công thử 4 cọc CDM. Phạm vi xử lý từ độ sâu 2,0÷10 m. Chất lượng của cọc được đánh giá sau 3 ngày tuổi bằng cách kết hợp thí nghiệm DCP và thí nghiệm cường độ mẫu thân cọc. Cường độ của mẫu thân cọc tại 3 ngày tuổi ( $q_{u3}$ ) được tư vấn thiết kế kiến nghị lấy bằng 60% cường độ mẫu thử tại 28 ngày tuổi. Kết hợp số liệu thí nghiệm cường độ mẫu thân cọc và sức kháng xuyên động tại 3 ngày tuổi ( $q_{d3}$ ), đơn vị tư vấn giám sát yêu cầu sức kháng xuyên động tối thiểu là  $q_{d3} = 10$  kG/cm<sup>2</sup> để cọc đảm bảo cường độ yêu cầu.

Thí nghiệm DCP được tiến hành tại tất cả các cọc thử với khối lượng 4 hố. Khối lượng, vị trí và độ sâu thí nghiệm được tổng hợp trong Bảng 11.

**4.2.2. Kết quả đánh giá**

Kết quả đánh giá chất lượng cọc CDM bằng thí nghiệm DCP dựa trên biểu đồ  $q_{d3}$  theo độ sâu được biểu diễn trên Hình 6.



*Hình 6. Kết quả đánh giá chất lượng cọc CDM theo thí nghiệm DCP (đoạn cọc không đạt được bôi đậm).*

Các biểu đồ này cho phép đánh giá mức độ đồng nhất của cọc, đồng thời xác định được các vị trí có cường độ cọc không đạt (vị trí được bôi đậm trên biểu đồ Hình 6). Dựa vào biểu đồ  $q_{d3}$  trên Hình 6 và số liệu trong Bảng 11, có thể thấy các cọc CQ-14, CQ-16 tương đối đồng nhất (độ lệch chuẩn thấp), nhưng có tỷ lệ đoạn cọc không đạt về cường độ khá lớn, lần lượt là 15,9% và 23,2%, chủ yếu tập trung ở phần dưới cọc; Cọc CQ-18 rất không đồng nhất (có độ lệch chuẩn lớn nhất), độ lệch giữa giá trị lớn nhất ( $Max = 72,9 \text{ kG/cm}^2$ ) và nhỏ nhất ( $Min = 3,4 \text{ kG/cm}^2$ ) rất lớn, thể hiện chất lượng thi công kém; Duy nhất cọc CQ-20 không có đoạn cọc không đạt.

## 5. Kết luận

Các kết quả nghiên cứu trong bài này cho phép rút ra một số kết luận sau:

Đánh giá chất lượng xử lý nền đất yếu có đối tượng, nội dung và yêu cầu khác với khảo sát địa chất công trình. Do đó, mỗi phương pháp thí nghiệm khi áp dụng cần xác định được mục đích, khả năng áp dụng, tính hiệu quả của phương pháp. Từ các kết quả phân tích lý thuyết và áp dụng thực tế của thí nghiệm DCP, có thể thấy phương pháp này khá hiệu quả khi áp dụng đánh giá chất lượng xử lý nền đất yếu, cho phép đánh giá được độ đồng nhất và chỉ ra được những vị trí không đạt yêu cầu trong cọc đất - xi măng; xác định được hiệu quả của từng quá trình nén chặt cơ học và cố kết, cũng như đánh giá được ảnh hưởng của hàm lượng chất kết dính khi xử lý nền bằng cọc cát biển - xi măng - tro bay.

Để phương pháp DCP có được hiệu quả và độ tin cậy cao trong đánh giá chất lượng xử lý nền, phương án đưa ra cần có sự kết hợp với các phương pháp thí nghiệm trong phòng và hiện trường một cách hợp lý (Bảng 1). Các kết quả thực nghiệm cần tiếp tục tổng hợp, xây dựng tương quan để nâng cao độ tin cậy, tính hiệu quả của phương pháp.

## Đóng góp của tác giả

Nguyễn Văn Phóng - đề xuất ý tưởng, thu thập và phân tích dữ liệu, viết bản thảo gốc, viết đánh giá & biên tập.

## Tài liệu tham khảo

- EN ISO 22476-3 (2005). Geotechnical investigation and testing - Field testing. Part 2: *Dynamic probing test*.
- Eurocode-7 Part 1 (1997). Geotechnical Design. *General Rules*.
- СН 448 - 72 (1978). Указания по зондированию грунтов для строительства. МОСКВА.
- Lê, T. T. (2014). Các phương pháp nghiên cứu và khảo sát địa chất công trình. *Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật*.
- McElvaney J, Bundadidjatnika I. *Strength evaluation of lime-stabilised pavement foundations using the dynamic cone penetrometer*. Engineering, Environmental Science, 1991;21(1):40-52
- Mohammadi, S. D., Nikoudela, M. R., Rahimib, H., & Khamchichyan, M. (2008). Application of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP) for determination of the engineering parameters of sandy soils. *Engineering Geology* 101(3). 195-203.
- Nguyễn, T. N., Bùi, T. S. và Bùi, V. B., (2023). Giáo trình Thiết kế và tổ chức thi công xử lý nền đất yếu. *Nhà xuất bản Giao thông vận tải*.
- Roy, E. H. (2005). Geotechnical Engineering Investigation Handbook. Second Edition, *CRC Press*.
- Tạ, Đ. T., Nguyễn, V. P., Nguyễn, T. D., Nguyễn, T. D. và Hồ, A. C. (2022a). Nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm quá trình nén chặt cơ học nền đất yếu gia cố bằng cọc cát biển - xi măng. *Kỷ yếu hội nghị khoa học toàn quốc ACEA - VIETGEO 2021, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật*. 110-117.
- Tạ, Đ. T., Nguyễn, V. P., Nguyễn, T. D., Phạm, V. H., Ngô, T. H. T. và Nguyễn, T. S. (2022b). Nghiên cứu quá trình cố kết thoát nước nền đất yếu gia cố bằng cọc cát biển - xi măng. *Kỷ yếu hội nghị khoa học toàn quốc ACEA - VIETGEO 2021, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật*. 35-43.
- Tạ, Đ. T., Phạm, Đ. T., Phạm, V. H., Hoàng, Đ. P., Bùi, V. Đ., Bùi, A. T., Nguyễn, V. P., Ngô, T. H. T.,

- Nguyễn, T. D. và Nguyễn, T. D. (2021). Nghiên cứu ứng dụng công nghệ cọc hỗn hợp cát biển-xi măng-tro bay để cải tạo nền đất yếu phục vụ xây dựng cơ sở hạ tầng vùng ven biển, hải đảo. *Đề tài khoa học và công nghệ quốc gia*, Mã số: RD 40-20, Bộ Xây dựng Việt Nam.
- TCVN 9355:2012 (2012). Gia cố nền đất yếu bằng thấm thoát nước.
- TCVN 9403:2012 (2012). Gia cố nền đất yếu - phương pháp trụ đất xi măng.
- TCVN 9906:2014 (2014). Công trình thủy lợi - Cọc đất xi măng thi công theo phương pháp Jet-Grouting - yêu cầu thiết kế thi công và nghiệm thu cho xử lý nền đất yếu.
- Vakili, A. H., Salimi, M. & Shamsi, M. (2021). Application of the dynamic cone penetrometer test for determining the geotechnical characteristics of marl soils treated by lime. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e08062.