



Journal of Mining and Earth Sciences

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



Application of flat dilatometer test for undrained shear strength evaluation in soft soils: Case study in Cai Mep, Vietnam



Phong Van Nguyen *

Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:

Received 04th May 2025

Revised 08th Aug. 2025

Accepted 30th Aug. 2025

Keywords:

Cai Mep,
Dilatometer,
Soft Soil,
Undrained shear strength.

ABSTRACT

Undrained shear strength (S_u) is one of the most critical parameters in the design and improvement of soft soil foundations. This paper presents the results of a study on the application of the flat dilatometer test (DMT) to determine the S_u of soft soils in the Cai Mep area, Ba Ria - Vung Tau Province, Vietnam. DMT tests were conducted at four survey locations, in parallel with unconsolidated undrained triaxial tests (UU), field vane shear tests (FVT), and piezocone penetration tests (CPTu), to evaluate the reliability and calibration potential of empirical expressions used to estimate S_u from DMT results. The findings indicate that the empirical formulas proposed by Marchetti (1980) and Lutenecker & Kabir (1988) yield small deviations are consistent with reference test results (UU and FVT) in soft to very soft clay. The formula by Roque et al. (1988) is only suitable for highly plastic clays ($I_s > 0.85$), but produces significant errors in soils with lower plasticity. Meanwhile, the expression by Kamei shows large discrepancies and is not applicable to the soft soil conditions in the study area. The study confirms the applicability of the DMT in soft ground conditions in the Cai Mep region and provides an experimental basis for broader geotechnical survey applications.

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

*Corresponding author

E - mail: nguyenvanphong.dcct@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2025.66(5).01



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

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



Ứng dụng thí nghiệm nén ngang Dilatometer xác định độ bền kháng cắt không thoát nước của đất yếu, áp dụng tại Cái Mép, Việt Nam

Nguyễn Văn Phóng *

Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 04/5/2025

Sửa xong 08/8/2025

Chấp nhận đăng 30/8/2025

Từ khóa:

Cái Mép,

Đất yếu,

Dilatometer,

Độ bền không thoát nước.

TÓM TẮT

Độ bền không thoát nước (S_u) là một trong những chỉ tiêu quan trọng nhất trong thiết kế và xử lý nền đất yếu. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu ứng dụng thí nghiệm hiện trường bằng tấm nén phẳng Dilatometer (DMT) để xác định S_u của đất yếu và áp dụng tại khu vực Cái Mép, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu, Việt Nam. Thí nghiệm DMT được thực hiện tại bốn điểm khảo sát, song song với các thí nghiệm ba trục (UU - sơ đồ không cố kết, không thoát nước), thí nghiệm cắt cánh (FVT) và thí nghiệm xuyên tĩnh có đo áp lực nước lỗ rỗng (CPTu) để đánh giá độ tin cậy và khả năng hiệu chỉnh của các biểu thức thực nghiệm xác định S_u từ kết quả DMT. Kết quả cho thấy các biểu thức của Marchetti (1980), Lutenegeger & Kabir (1988) cho độ lệch nhỏ và phù hợp với kết quả thí nghiệm kiểm chứng (UU và FVT) trong đất sét dẻo chảy. Biểu thức của Roque và nnk. (1988) chỉ phù hợp cho đất sét có độ sệt cao ($I_s > 0,85$), nhưng cho sai số đáng kể với đất có độ sệt thấp hơn. Trong khi biểu thức của Kamei cho sai số lớn và không phù hợp với điều kiện đất yếu vùng nghiên cứu. Kết quả nghiên cứu cũng khẳng định tiềm năng ứng dụng của DMT trong điều kiện đất yếu khu vực nghiên cứu và là cơ sở thực nghiệm để mở rộng áp dụng trong công tác khảo sát địa kỹ thuật.

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

*Tác giả liên hệ

E - mail: nguyenvanphong.dcct@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2025.66(5).01

1. Mở đầu

Trong lĩnh vực địa kỹ thuật, việc nghiên cứu và xác định chính xác các chỉ tiêu tính chất cơ học của đất yếu là một trong những nhiệm vụ then chốt để đảm bảo an toàn và hiệu quả kinh tế khi xây dựng công trình. Một trong những chỉ tiêu quan trọng đặc trưng cho tính chất cơ học của đất yếu là độ bền không thoát nước (S_u), đóng vai trò quyết định trong thiết kế nền móng, xử lý nền và đánh giá ổn định công trình. Tuy nhiên, đất yếu thường có đặc điểm bão hòa nước, hệ số rỗng cao, không đồng nhất và dễ bị xáo trộn khi lấy mẫu, dẫn đến độ tin cậy thấp nếu chỉ dựa vào thí nghiệm trong phòng (Nguyễn & Tạ, 2008; Nguyễn, 2012; Lê, 2010).

Trước yêu cầu nâng cao hiệu quả khảo sát và đánh giá nhanh đặc trưng cơ lý của đất yếu, phương pháp thí nghiệm hiện trường Dilatometer (DMT) đã được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi ở nhiều quốc gia. Thí nghiệm DMT thường được coi là một phương pháp tin cậy để xác định độ bền không thoát nước của đất yếu (Marchetti, 2001; Robertson, 2009; Lutenegeger, 2021). Nhiều nghiên cứu ứng dụng thí nghiệm DMT đã được công bố như các nghiên cứu của Marchetti (1980, 2001) về ứng dụng DMT xác định S_u và ED; Lutenegeger và Kabir (1988) đã so sánh DMT với thí nghiệm xuyên tĩnh và các thí nghiệm phòng trong đất yếu (Lutenegeger & Kabir, 1988). Một số nghiên cứu đã chỉ ra rằng kết quả của DMT có thể dao động trong khoảng từ 20% đến 30% so với các phương pháp khác, tùy thuộc vào loại đất và điều kiện địa chất công trình cụ thể (Kiousis & Tumay, 2001; Ismail & Kassim, 2004; Ferek & Juric-Kacunic, 2012).

Tại Việt Nam, việc ứng dụng DMT tuy chưa phổ biến rộng rãi nhưng đang dần được quan tâm, nhất là trong các dự án lớn có yêu cầu cao về độ tin cậy trong khảo sát. Một số công trình nghiên cứu đã bước đầu khẳng định giá trị thực tiễn của DMT (Lê, 2018). Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu, đánh giá khả năng của phương pháp trong việc xác định S_u của đất yếu, đặc biệt là so sánh với các phương pháp khác như thí nghiệm xuyên tĩnh (CPTu), thí nghiệm cắt cánh (FVT), thí nghiệm nén ba trục (UU) để hiệu chỉnh và kiểm chứng kết quả.

Khu vực Cái Mép, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu là một trong những khu vực trọng điểm về phát triển cảng biển nước sâu và công nghiệp nặng của vùng

Đông Nam Bộ, đóng vai trò chiến lược trong mạng lưới logistics quốc gia và quốc tế. Sự phát triển nhanh chóng về hạ tầng tại đây kéo theo nhu cầu khảo sát và thiết kế nền móng ngày càng cao, đặc biệt trong khu vực này có đặc điểm địa tầng đặc trưng bởi nhiều loại đất yếu, gây ra nhiều khó khăn trong công tác thiết kế nền móng. Việc áp dụng thí nghiệm DMT cùng với một số phương pháp thí nghiệm phổ biến tại một vị trí điển hình trong khu vực này vừa cho phép đánh giá khả năng ứng dụng của phương pháp, đồng thời góp phần xây dựng cơ sở dữ liệu tham chiếu hữu ích cho các bước thiết kế tiếp theo.

Bài báo trình bày về phương pháp thí nghiệm DMT và khả năng ứng dụng trong xác định độ bền không thoát nước của đất, đồng thời đưa ra kết quả nghiên cứu cho đất yếu tại bốn điểm khảo sát ở khu vực Cái Mép. Các kết quả được so sánh, phân tích và đánh giá độ phù hợp giữa các công thức nội suy S_u từ DMT với các kết quả từ thí nghiệm CPTu, FVT và UU nhằm xác định mức độ đáng tin cậy của phương pháp.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Độ bền không thoát nước của đất yếu và phương pháp xác định

Trong cơ học đất, có hai điều kiện chính được xét đến khi đất bị cắt, đó là thoát nước và không thoát nước. Trong điều kiện thoát nước, nước lỗ rỗng trong đất có thời gian để thoát ra, do đó ứng suất hữu hiệu chi phối. Ở điều kiện không thoát nước, thường áp dụng cho đất loại sét bão hòa trong điều kiện gia tải nhanh, nước lỗ rỗng không kịp thoát ra làm gia tăng áp lực nước lỗ rỗng (u) và độ bền của đất chịu chi phối của ứng suất tổng. Độ bền không thoát nước được xem là độ bền tức thời, thường được dùng trong các bài toán đánh giá ổn định nền đất yếu trong quá trình thi công.

Đất yếu thường là đất loại sét ở trạng thái dẻo chảy đến chảy, bão hòa nước và có hệ số rỗng lớn (Nguyễn, 2015). Do đặc điểm bão hòa nước nên các bài toán về ổn định của nền đất (tính toán lún trời, trượt, áp lực đất, sức chịu tải) thường liên quan trực tiếp đến độ bền không thoát nước S_u của đất yếu.

Tại Việt Nam, việc xác định S_u cho đất yếu có nhiều phương pháp, bao gồm phương pháp thí nghiệm trong phòng (ba trục) và hiện trường (cắt cánh, xuyên tĩnh) như tổng hợp trong Bảng 1.

Bảng 1. Bảng tổng hợp các phương pháp thí nghiệm thường dùng xác định S_u trong đất yếu ở Việt Nam.

TT	Tên phương pháp thí nghiệm	Ưu nhược điểm	Phương pháp xác định
1	Ba trục theo các sơ đồ: - Không cố kết, không thoát nước (UU); - Cố kết, không thoát nước (CU).	Mô phỏng được điều kiện ứng suất thực tế (UU) hay dự đoán (CU). Chịu ảnh hưởng xáo động mẫu, thí nghiệm trên mẫu nhỏ.	Trực tiếp.
2	Cắt phẳng (DST).	Đơn giản, chi phí thấp. Chịu ảnh hưởng xáo động mẫu, thí nghiệm trên mẫu nhỏ, cắt theo mặt định trước.	Trực tiếp.
3	Thí nghiệm cánh cắt (FVT).	Điều kiện thí nghiệm thực tế. Có thể chịu ảnh hưởng của ma sát cần, cắt theo mặt định trước.	Trực tiếp.
4	Thí nghiệm xuyên tĩnh có đo áp lực nước lỗ rỗng (CPTu).	Điều kiện thí nghiệm thực tế, số liệu thí nghiệm liên tục theo chiều sâu.	Xác định gián tiếp theo các biểu thức thực nghiệm.

Sử dụng kết quả thí nghiệm CPTu, độ bền không thoát nước S_u (kPa) của đất yếu được xác định theo công thức thực nghiệm (1) (Mayne & Peuchen, 2018):

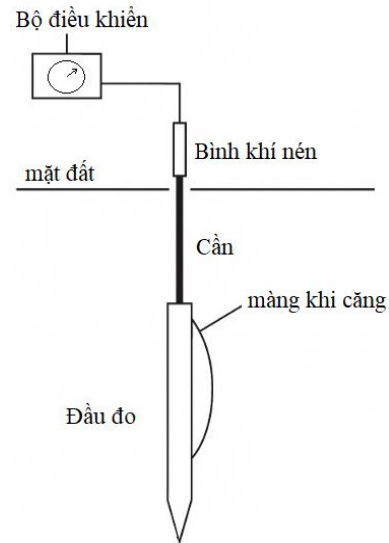
$$S_u = \frac{(q_t - \sigma_{vo})}{N_{kt}} \quad (1)$$

Trong đó: q_t - sức kháng mũi xuyên hiệu chỉnh (kPa); σ_{vo} - ứng suất địa tầng tổng (kPa); N_{kt} - hệ số mũi côn; m - hệ số thực nghiệm. Trong điều kiện đất yếu Việt Nam, N_{kt} có thể lấy bằng từ 15÷17 (Nguyễn, 2012).

2.2. Xác định S_u bằng thí nghiệm DMT

Thí nghiệm nén phẳng Dilatometer là một trong những phương pháp thí nghiệm tại hiện trường được sử dụng phổ biến trong khảo sát và phân tích địa kỹ thuật, đặc biệt trong việc đánh giá các đặc trưng cơ học của đất yếu (Marchetti, 1980; 2001; Monaco và nnk. 2005). Thiết bị thí nghiệm DMT gồm đầu đo dẹt (blade) bằng thép với màng kim loại tròn, mỏng, có đường kính 60 mm, được nối với bộ điều khiển trên mặt đất bằng ống khí nén-dây điện luồn qua các cần xuyên. Bộ điều khiển bao gồm các đồng hồ áp suất, đèn báo và âm thanh báo, các van để điều chỉnh áp suất khí nén được cung cấp từ bình khí nén (Hình 1). Trong quá trình thí nghiệm, đầu đo được ép xuống đất và thí nghiệm theo từng độ sâu.

Các thông số cần xác định trong quá trình thí nghiệm DMT bao gồm: Áp suất ban đầu P_0 là áp suất để màng bắt đầu di chuyển (số đọc "A", kPa);



Hình 1. Sơ đồ cấu tạo thiết bị DMT.

Áp suất P_1 là áp suất để màng dịch chuyển 1.1 mm (số đọc "B", kPa) và áp suất P_2 là áp suất còn lại (số đọc "C", kPa) sau khi xả áp để màng dịch chuyển về vị trí ban đầu. Từ các thông số đo được, các chỉ số DMT được xác định theo các biểu thức (2), (3), (4), (5) (Marchetti, 1980; Lutenegeger & Kabir, 1988).

- Chỉ số vật liệu hay còn gọi là chỉ số loại đất (I_D):

$$I_D = (P_1 - P_0) / (P_0 - U_0) \quad (2)$$

- Chỉ số ứng suất theo phương ngang (K_D):

$$K_D = (P_0 - U_0) / \sigma_{vo}' \quad (3)$$

- Mô đun nén ngang (E_D , kPa):

$$E_D = 34,7(P_1 - P_0) \quad (4)$$

- Hệ số áp lực nước lỗ rỗng:

$$U_D = (P_2 - P_0)/(P_0 - U_0) \quad (5)$$

Trong đó: U_0 - áp lực nước lỗ rỗng ban đầu (bằng áp lực thủy tĩnh, kPa); σ_{vo}' - ứng suất hiệu quả theo phương đứng (kPa).

Các chỉ số DMT là cơ sở xác định các đặc trưng của đất như loại đất, độ bền không thoát nước (S_u), mô đun nén ngang (E_D), hệ số áp lực hông (K_0), áp lực tiền cố kết (p_c), hệ số quá cố kết (OCR) và một số chỉ tiêu khác.

Độ bền không thoát nước của đất có thể được xác định từ kết quả thí nghiệm DMT thông qua nhiều công thức thực nghiệm khác nhau, tùy thuộc vào đặc điểm phân loại và tính chất cơ lý của đất.

Tổng hợp các nghiên cứu cho thấy, ba nhóm công thức thực nghiệm đã được đề xuất để xác định độ bền không thoát nước của đất từ kết quả thí nghiệm DMT, tương ứng với từng loại đất: đất hữu cơ (Rabarijoely, 2000), đất sét với chỉ số ID < 1,2 (Marchetti, 1980; Kamei & Iwasaki, 1995), và đất sét mềm yếu (Lutenegger, 1990; Roque và nnk., 1988). Đối với đất sét mềm yếu, ít hoặc không chứa thành phần hữu cơ, có thể áp dụng một số công thức thực nghiệm sau:

- Theo Marchetti (1980):

$$S_u = 0,22 \cdot \sigma'_{vo} (0,5K_D)^{1,25} \quad (6)$$

- Theo Kamei & Iwasaki (1995):

$$S_u = 0,35 \cdot \sigma'_{vo} (0,47K_D)^{1,14} \quad (7)$$

- Theo Lutenegger (1990):

$$S_u = (P_0 - P_2)/2,65 \quad (8)$$

- Theo Roque và nnk. (1988):

$$S_u = (P_1 - \sigma_{ho})/N_c \quad (9)$$

Trong đó: σ'_{vo} - áp lực địa tầng hiệu quả (kPa); σ_{ho} - áp lực địa tầng theo phương ngang (kPa); N_c - hệ số kháng cắt của đất, lấy trong khoảng từ 5÷9 tỷ lệ với tính dẻo của đất.

Các biểu thức (6), (7) đang được sử dụng phổ biến để xác định S_u cho đất có ID < 1,2 (đất loại sét). Biểu thức (8) được Lutenegger (1990) đề xuất cho đất yếu. Trong khi biểu thức (9) được đánh giá có thể áp dụng cho đất sét mềm yếu (Lutenegger, 1990) nếu biết áp lực địa tầng theo phương ngang. Trị số này được xác định theo biểu thức (10):

$$\sigma_{ho} = K_0 \sigma'_{vo} + U_0 \quad (10)$$

Trong đó: K_0 - hệ số áp lực hông của đất, có thể được xác định từ kết quả thí nghiệm DMT theo công thức thực nghiệm do Marchetti (1980) đề xuất: $K_0 = (K_D/1,5)^{0,47} - 0,6$.

Như vậy, cả bốn biểu thức thực nghiệm nêu trên đều có khả năng áp dụng cho các loại đất yếu phổ biến tại Việt Nam. Tuy nhiên, việc lựa chọn công thức và các hệ số thực nghiệm đi kèm cần được hiệu chỉnh dựa trên kết quả thí nghiệm tin cậy tại từng khu vực cụ thể, nhằm đảm bảo tính chính xác và phù hợp với điều kiện địa chất địa phương.

2.3. Cơ sở so sánh, đánh giá kết quả thí nghiệm

Việc xác định các chỉ tiêu cơ học của đất từ kết quả thí nghiệm DMT chịu ảnh hưởng bởi loại đất, điều kiện thành tạo và tồn tại của đất, vốn mang tính chất địa phương. Do đó, khi áp dụng DMT cho các loại đất yếu tại từng khu vực cụ thể, cần thiết phải đánh giá mức độ phù hợp và độ tin cậy của kết quả thông qua so sánh với các phương pháp truyền thống như UU, DST, FVT, CPTu,... Việc tiến hành đồng thời các thí nghiệm này tại cùng một vị trí không chỉ cho phép hiệu chỉnh các kết quả thu được từ DMT, mà còn góp phần nâng cao độ chính xác và độ tin cậy trong xác định các chỉ tiêu cơ học của đất. Trong quá trình này, cần xác định một phương pháp có độ chính xác và độ tin cậy cao để làm cơ sở chuẩn (phương pháp chuẩn) cho việc so sánh và đánh giá. Phương pháp chuẩn để xác định một chỉ tiêu cơ học của đất cần phải là phương pháp xác định trực tiếp, có khả năng phản ánh đúng cơ chế ứng xử của đất và phù hợp với điều kiện làm việc thực tế.

Trong thực tế, có ba phương pháp thí nghiệm trực tiếp thường được sử dụng để xác định sức kháng không thoát nước (S_u) của đất là thí nghiệm cắt phẳng (DST), ba trục không cố kết - không thoát nước (UU), và cắt cánh hiện trường (FVT). Trong số này, thí nghiệm UU được đánh giá là phản ánh khá tốt cơ chế ứng xử thực tế của đất, do mẫu bị cắt theo mặt trượt nguy hiểm nhất, tức là mặt yếu nhất chịu ứng suất cắt lớn nhất và mô phỏng được điều kiện ứng suất không thoát nước trong thực địa. Tuy nhiên, kết quả UU dễ bị ảnh hưởng bởi sự xáo động mẫu, đặc biệt là với đất yếu.

Trong khi đó, thí nghiệm FVT được thực hiện trực tiếp trong điều kiện tự nhiên, không chịu ảnh hưởng của xáo động mẫu, nhưng quá trình cắt diễn ra theo mặt cường bức, không trùng với mặt trượt nguy hiểm, dẫn đến kết quả thường cao hơn giá trị thực (Coduto, 2011). Thí nghiệm DST lại có nhiều hạn chế do chịu ảnh hưởng bởi cả xáo động mẫu, mặt cắt cường bức và điều kiện ứng suất không phù hợp với thực tế, do đó có độ chính xác và độ tin cậy thấp nhất.

Như vậy, thí nghiệm UU có thể được xem là phương pháp chuẩn để xác định S_u , với điều kiện kiểm soát tốt ảnh hưởng của xáo động mẫu - điều này khả thi đối với đất tốt hoặc khi sử dụng ống mẫu chuyên dụng cho đất yếu. Tuy nhiên, trong thực tiễn, việc loại bỏ hoàn toàn tác động xáo động mẫu khi lấy và lắp mẫu đất yếu vào thiết bị ba trục vẫn còn nhiều khó khăn. Do đó, việc kết hợp giữa phương pháp UU và FVT là cần thiết nhằm hỗ trợ, hiệu chỉnh lẫn nhau để nâng cao độ tin cậy trong xác định S_u của đất yếu (Terzaghi và nnk., 1996; Coduto, 2011)



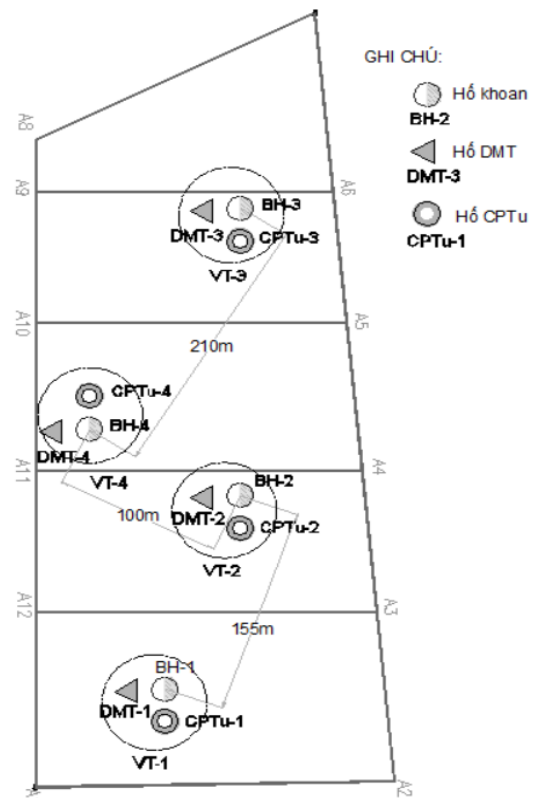
Hình 2. Vị trí khu vực nghiên cứu.

3. Kết quả áp dụng tại khu vực Cái Mép và thảo luận

3.1. Phương pháp tiến hành

Để đánh giá khả năng ứng dụng thí nghiệm DMT xác định S_u của đất yếu, một tổ hợp các phương pháp khảo sát và thí nghiệm hiện trường đã được triển khai đồng thời tại bốn điểm (VT-1, VT-2, VT-3, VT-4) thuộc khu vực Cảng Cái Mép, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu (Hình 2). Tại mỗi điểm, tổ hợp khảo sát bao gồm: một hố khoan (BH) để xác định địa tầng, thực hiện thí nghiệm cắt cánh (FVT) và lấy mẫu thí nghiệm trong phòng; một hố xuyên tĩnh CPTu và một hố thí nghiệm DMT (Hình 3).

Các hố khoan, xuyên và DMT tại mỗi vị trí được bố trí với khoảng cách khoảng 2 m nhằm đảm bảo điều kiện địa chất và tính chất cơ lý của đất giữa các hố là tương đương, đồng thời hạn chế tối đa sự ảnh hưởng qua lại giữa các thí nghiệm. Hệ thống ký hiệu cho các hố khoan, xuyên và DMT được đặt theo thứ tự điểm nghiên cứu như minh họa trong Hình 3. Thông tin chi tiết về thiết bị sử dụng, khối lượng khảo sát và thí nghiệm tại hiện trường được trình bày trong Bảng 2.



Hình 3. Vị trí các điểm khảo sát.

Bảng 2. Tổng hợp thiết bị, tiêu chuẩn sử dụng và khối lượng khảo sát, thí nghiệm tại các vị trí nghiên cứu.

TT	Loại hình khảo sát, thí nghiệm	Loại thiết bị sử dụng	Tiêu chuẩn áp dụng	Khối lượng tại mỗi điểm nghiên cứu			
				VT-1	VT-2	VT-3	VT-4
1	Khoan (m)	XY - 100	TCVN 9437:2012	33,0	33,0	33,0	33,0
2	Lấy mẫu (mẫu)	ống mẫu thành mỏng	ASTM D1587	12	12	12	12
3	FVT (điểm)	Geonor H70	ASTM D2573	9	8	9	12
4	UU (mẫu)	Controls - 50kN	ASTM D2850	6	6	6	6
5	CPTu (m)	Geomil -100kN	ASTM D5778	30,0	30,0	30,0	30,0
6	DMT (điểm)	Flat Dilatometer	ASTM D6635	10	10	10	10

3.2. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm

Theo kết quả khảo sát của 4 hố khoan và 48 mẫu thí nghiệm thông thường, nền đất khu vực nghiên cứu đến độ sâu 33,0 m bao gồm 7 lớp đất với đặc điểm phân bố như tổng hợp trong Bảng 3. Tiến hành thí nghiệm 48 mẫu trong 6 lớp đất (trừ lớp đất san lấp) để xác định các chỉ tiêu vật lý cơ bản như: độ ẩm (w), khối lượng thể tích tự nhiên (γ), tỷ trọng hạt (Δ), hệ số rỗng (e), Độ bão hòa (S_r), độ ẩm giới hạn chảy (w_L), độ ẩm giới hạn dẻo (w_P) và độ sệt (I_s). Trị số trung bình của các chỉ tiêu này cho mỗi lớp đất được tổng hợp trong Bảng 4.

Bảng 3. Bảng tổng hợp các lớp đất và đặc điểm phân bố.

Lớp đất	Độ sâu phân bố (m)	Chiều dày trung bình
Lớp 1: Đất san lấp (cát pha xám đen).	0,0 ÷ 6,8	5,1
Lớp 2: Sét pha, xám nâu, dẻo mềm.	3,8 ÷ 7,2	2,07
Lớp 3: Sét, xám xanh, xám đen, dẻo chảy.	5,5 ÷ 18,2	11,2
Lớp 4: Sét pha nhẹ, xám vàng, dẻo mềm.	16,5 ÷ 19,4	1,52
Lớp 5: Sét, xám xanh, dẻo chảy.	23,5 ÷ 31,4	6,12
Lớp 6: Sét pha, xám vàng, dẻo cứng.	31,0 ÷ 33,0	6,2
Lớp 7 - Sét pha, xen kẹp cát, xám vàng, dẻo cứng.	27,6 đến >33	

Dựa vào kết quả thí nghiệm tổng hợp trong Bảng 4, nền đất khu vực có hai lớp đất yếu là lớp 3

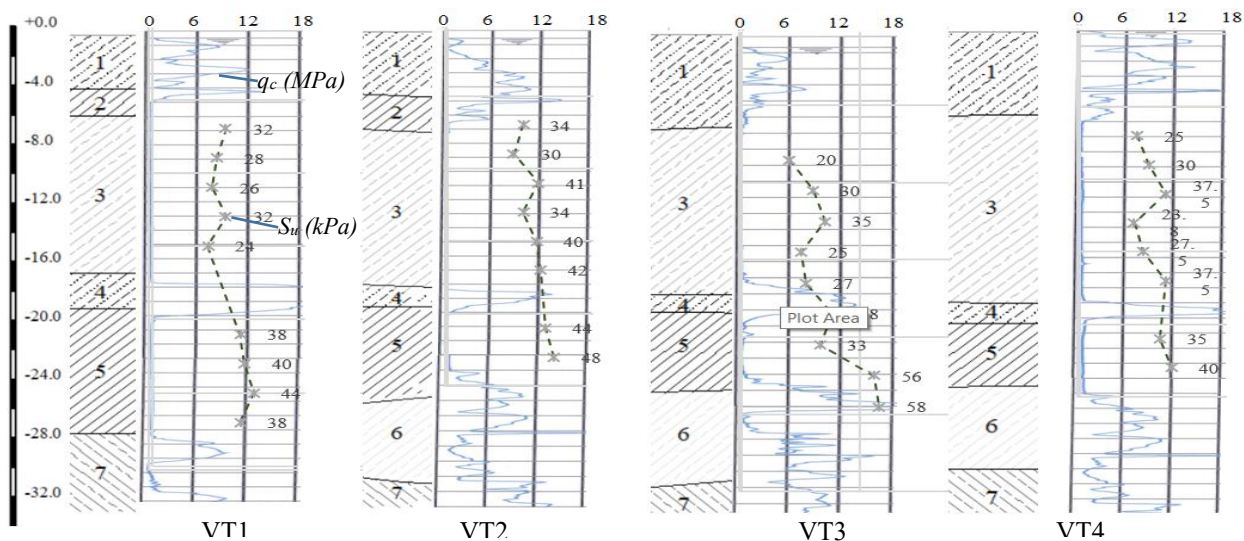
và lớp 5 đều thuộc loại đất sét ở trạng thái dẻo chảy ($0,75 < I_s < 1$), có hệ số rỗng, độ ẩm và độ bão hòa lớn ($e > 1$, $w > 50\%$, $S_r > 97\%$).

Bảng 4. Tổng hợp các chỉ tiêu vật lý của các lớp đất.

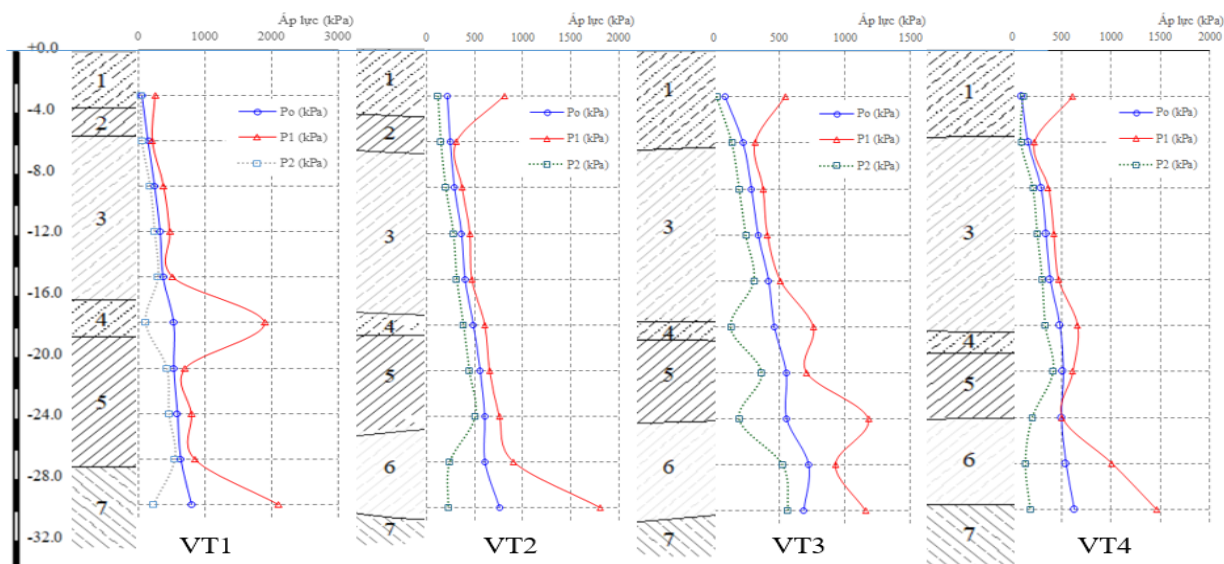
Chỉ tiêu	Lớp 2	Lớp 3	Lớp 4	Lớp 5	Lớp 6	Lớp 7
w (%)	30,5	64,7	23,9	53,8	28,0	22,0
γ (kN/m ³)	18,1	15,5	18,5	16,2	18,5	19,0
Δ	2,69	2,60	2,66	2,63	2,70	2,66
e	0,902	1,718	0,744	1,451	0,830	0,677
S_r (%)	90,9	97,9	85,6	97,4	90,5	86,7
w_L (%)	38,1	68,4	26,8	61,3	37,2	28,3
w_P (%)	22,0	32,5	17,4	30,1	21,2	19,0
I_P (%)	16,1	35,9	9,4	31,2	16,0	9,4
I_s	0,53	0,90	0,73	0,76	0,41	0,33

Trong đó, lớp 5 có tính chất xây dựng tốt hơn lớp 3 do độ sệt (lớp 3 có $0,85 < I_s < 1,02$; lớp 5 có $0,67 < I_s < 0,82$), độ ẩm, hệ số rỗng nhỏ hơn, dung trọng tự nhiên lớn hơn. Nhìn chung, đất yếu trong khu vực phân bố từ độ sâu từ khoảng độ sâu (5,5 ÷ 7,0) m đến khoảng độ sâu (23,5 ÷ 27,6) m, xen kẹp một lớp mỏng sét pha, dẻo mềm (lớp 4). Kết quả thí nghiệm hiện trường FVT, CPTu, DMT tại các điểm khảo sát được biểu diễn tại Hình 4, 5. Kết quả thí nghiệm UU trong các lớp đất yếu được tổng hợp trong Bảng 5.

Theo kết quả Bảng 5: lớp 3 có lực dính kết không thoát nước (c_{uu}) thay đổi từ 13,9 ÷ 16,7 kPa, trung bình bằng 15,0 kPa và $S_u = (25,9 \div 29,3)$ kPa, S_u trung bình bằng 27,0 kPa; lớp 5 có $c_{uu} = (14,7 \div 18,5)$ kPa, c_{uu} trung bình bằng 16,8 kPa và $S_u = (32,0 \div 54,3)$ kPa, S_u trung bình bằng 37,7 kPa.



Hình 4. Biểu đồ kết quả thí nghiệm FVT và CPTu tại các điểm khảo sát.



Hình 5. Biểu đồ kết quả thí nghiệm DMT tại các điểm khảo sát.

Bảng 5. Tổng hợp kết quả thí nghiệm UU trong các lớp đất yếu.

Lớp đất yếu	Độ sâu	VT-1			VT-2			VT-3			VT-4		
		ϕ_{uu} (độ)	c_{uu} (kPa)	S_u (kPa)	ϕ_{uu} (độ)	c_{uu} (kPa)	S_u (kPa)	ϕ_{uu} (độ)	c_{uu} (kPa)	S_u (kPa)	ϕ_{uu} (độ)	c_{uu} (kPa)	S_u (kPa)
Lớp 3	7,8	2,70	16,2	22,7	2,50	16,4	22,4	3,00	13,3	20,6	2,75	14,0	20,6
	9,8	3,40	14,6	24,9	4,30	15,3	28,3	4,60	17,2	31,1	3,48	15,2	25,7
	11,8	3,10	13,1	24,4	4,30	17,8	33,4	3,50	13,0	25,8	3,15	14,4	25,9
	13,8	3,15	16,9	30,3	3,10	17,4	30,6	4,10	15,5	33,0	3,98	12,9	29,9
	15,8	2,46	15,0	27,0	3,15	16,5	31,8	2,30	12,4	23,6	3,20	12,9	28,4
	Trung bình	2,96	15,2	25,9	3,47	16,7	29,3	3,50	14,3	26,8	3,31	13,9	26,1
Lớp 5	19,8	2,60	16,1	32,0				2,90	14,7	32,4			
	21,8				5,30	18,5	54,3				5,20	18,1	53,2
	Trung bình	2,60	16,1	32,0	5,30	18,5	54,3	2,90	14,7	32,4	5,20	18,1	53,2

3.3. Xác định S_u và thảo luận

Trong nghiên cứu này, độ bền không thoát nước S_u của đất yếu (lớp 3 và lớp 5) được xác định từ các thí nghiệm UU, FVT, CPTu và DMT. Trong đó, S_u tính theo kết quả thí nghiệm CPTu bằng biểu thức (1) với $N_{kt} = 16$; tính theo kết quả thí nghiệm DMT bằng biểu thức (6), (7), (8), (9). Khi sử dụng biểu thức (9), hệ số N_c được lấy bằng 9 do các lớp đất yếu đều có chỉ số dẻo rất cao ($I_p > 30\%$). Các kết quả xác định S_u trong các lớp đất yếu được tổng hợp trong Bảng 6. Hình 6 biểu diễn đồng thời biểu đồ S_u theo các phương pháp khác nhau ở 4 điểm khảo sát. Trên Hình 7 là biểu đồ biểu diễn trị số S_u trung bình của lớp 3 và lớp 5 theo các phương pháp khác nhau.

Dựa theo các kết quả trình bày trên Hình 7 và Bảng 7 có thể thấy:

- Thí nghiệm UU cho kết quả thấp nhất so với

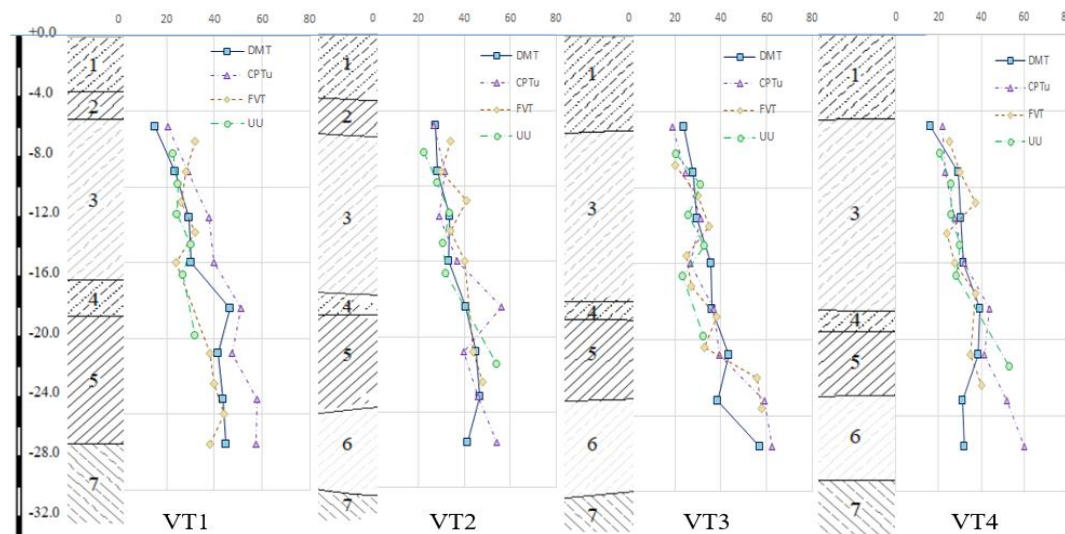
các phương pháp hiện trường. Điều này có thể được giải thích bởi một phần do ảnh hưởng của xáo động mẫu, một phần do mẫu bị cắt theo mặt yếu nhất.

- S_u từ thí nghiệm FVT cao hơn thí nghiệm UU từ 10,1% (lớp 5) đến 11,5% (lớp 3). Kết quả này cho thấy hai thí nghiệm khá tương đồng và ảnh hưởng của xáo động mẫu với thí nghiệm UU không đáng kể, một phần sai lệch còn do FVT cắt đất theo mặt cường bức. So sánh kết quả FVT với c_{uu} (từ thí nghiệm UU) chỉ ra rằng kết quả FVT cao hơn c_{uu} từ 2,0 lần (lớp 3) đến 2,46 lần (lớp 5). Điều này cho thấy quan niệm coi độ bền không thoát nước của đất yếu là c_{uu} trong trường hợp này không hợp lý.

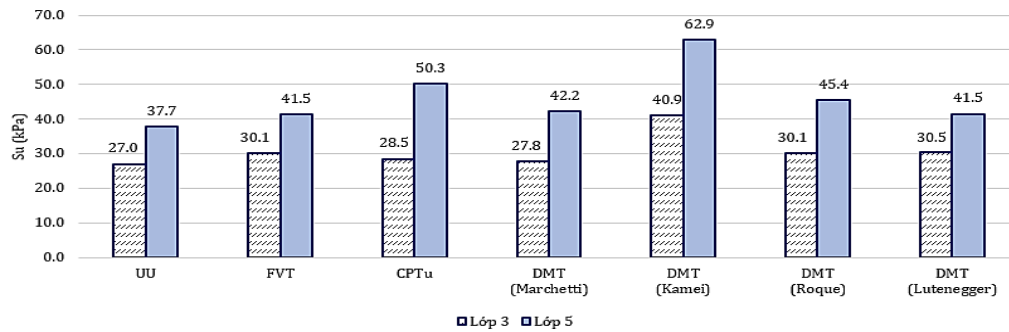
- Kết quả xác định S_u theo CPTu (với $N_{kt} = 16$) khá phù hợp trong lớp 3 (có độ sệt $I_s = 0,90$) với độ sai lệch nhỏ (+5,6%), nhưng có độ sai lệch lớn (+33,4%) trong lớp 5. Điều này có thể do việc lựa chọn hệ số N_{kt} chưa phù hợp trong lớp 5 (có độ sệt $I_s = 0,76$, gần ngưỡng dẻo mềm).

Bảng 6. Tổng hợp kết quả xác định S_u (kPa) theo các phương pháp khác nhau.

Lớp đất yếu	Điểm khảo sát	UU	FVT	CPTu	DMT (Marchetti)	DMT (Kamei)	DMT (Roque)	DMT (Lutnegger)
Lớp 3	VT-1	25,9	28,4	31,7	24,5	36,5	31,5	28,9
	VT-2	29,3	35,8	31,0	30,7	44,9	30,8	32,0
	VT-3	26,8	27,4	25,3	29,3	43,0	30,8	30,4
	VT-4	26,1	28,8	26,0	26,7	39,5	27,4	30,5
	Trung bình	27,0	30,1	28,5	27,8	40,9	30,1	30,5
Lớp 5	VT-1	32,0	40,0	54,3	43,3	64,6	52,7	41,1
	VT-2	40,7	46,0	46,7	44,4	65,7	47,1	40,7
	VT-3	32,4	42,3	53,6	46,4	68,7	49,2	46,3
	VT-4	45,7	37,5	46,7	34,8	52,7	32,6	37,9
	Trung bình	37,7	41,5	50,3	42,2	62,9	45,4	41,5



Hình 6. So sánh S_u (kPa) theo thí nghiệm DMT (Marchetti, 1980) với các thí nghiệm CPTu, FVT, UU.



Hình 7. Biểu đồ so sánh S_u (kPa) nhận được từ các thí nghiệm khác nhau.

Bảng 7. So sánh kết quả xác định S_u theo các phương pháp khác nhau.

Phương pháp	S_u trung bình (kPa)		Sai lệch so với UU (%)	
	Lớp 3	Lớp 5	Lớp 3	Lớp 5
UU	27,0	37,7	0,0%	0,0%
FVT	30,1	41,5	+11,5%	+10,1%
CPTu	28,5	50,3	+5,6%	+33,4%
DMT (Marchetti)	27,8	42,2	+3,0%	+11,9%
DMT (Kamei)	40,9	62,9	+51,5%	+66,8%
DMT (Roque)	30,1	45,4	+11,5%	+20,4%
DMT (Lutenegger)	30,5	41,5	+12,4%	+10,1%

- Việc áp dụng xác định S_u từ kết quả thí nghiệm DMT trong lớp 3: các biểu thức của Marchetti, Roque và Lutenegger có độ sai lệch không đáng kể so với UU, từ +3,0÷12,4%, đồng thời khá tương đồng với FVT. Mức sai lệch như vậy được xem là tương đối nhỏ nếu so với mức phổ biến 20÷30% (Kioussis & Tumay, 2001; Ismail & Kassim, 2004; Ferek & Juric-Kacunic, 2012). Trong khi biểu thức của Kamei cho độ lệch lớn (+51,5%) so với UU. Ở lớp 5, các biểu thức của Marchetti, Lutenegger cho kết quả tương đương với FVT và sai lệch không đáng kể với UU (+10,1 đến +11,9%); trong khi độ sai lệch đáng kể khi áp dụng biểu thức của Roque (20,4%) và rất lớn với biểu thức của Kamei (66,8%).

Như vậy, trong các biểu thức xác định S_u từ DMT cho đất yếu khu vực nghiên cứu, biểu thức của Marchetti thể hiện độ phù hợp cao nhất, tiếp đến là biểu thức của Lutenegger. Biểu thức của Roque chỉ phù hợp với lớp 3, trong khi biểu thức của Kamei không phù hợp.

4. Kết luận

Từ kết quả thí nghiệm DMT, có thể xác định độ bền không thoát nước S_u theo nhiều biểu thức thực nghiệm khác nhau tùy theo loại đất. Kết quả áp dụng tại khu vực Cái Mép cho thấy thí nghiệm DMT có khả năng cung cấp giá trị S_u đáng tin cậy

đối với đất yếu bão hòa nếu chọn được biểu thức phù hợp. So sánh với các kết quả từ thí nghiệm UU, FVT và CPTu cho thấy:

- Các biểu thức của Marchetti (1980), Lutenegger & Kabir (1988) cho độ lệch nhỏ và phù hợp với kết quả các thí nghiệm kiểm chứng (UU và FVT) cho đất dẻo chảy.

- Biểu thức của Roque và nnk. (1988) phù hợp cho đất sét có độ sệt cao ($I_s > 0,85$), nhưng cho sai số đáng kể với đất có độ sệt thấp hơn.

- Biểu thức của Kamei cho sai số lớn và không phù hợp với điều kiện đất yếu vùng nghiên cứu.

- Khi cùng so với thí nghiệm UU, kết quả DMT có sai số thấp hơn FVT và CPTu khi lựa chọn công thức phù hợp. Điều này cho thấy tiềm năng ứng dụng DMT trong xác định S_u là khả thi và đáng tin cậy, đặc biệt trong điều kiện khó lấy mẫu nguyên trạng.

Từ kết quả nghiên cứu, có thể đề xuất áp dụng DMT như một phương pháp bổ sung hoặc thay thế trong khảo sát địa kỹ thuật tại khu vực có đất yếu tương tự.

Lời cảm ơn

Bài báo này là kết quả của đề tài nghiên cứu khoa học cấp cơ sở mã số T25-14, do Trường Đại học Mỏ - Địa chất cấp kinh phí. Tác giả xin trân

trọng cảm ơn sự hỗ trợ về tài chính và điều kiện nghiên cứu từ Nhà trường trong quá trình thực hiện đề tài.

Đóng góp của tác giả

Tác giả Nguyễn Văn Phóng đóng góp về phương pháp luận, viết bản thảo bài báo, kiểm chứng, phân tích dữ liệu, đánh giá và chỉnh sửa.

Tài liệu tham khảo

Coduto, D. P. (2011). *Geotechnical Engineering: Principles and Practices*. Pearson Education Publisher.

Ferek, V., Juric-Kacunic, D. (2012). CPT-DMT correlations on regional soils from Croatia. *Proceedings of the 3rd International Conference on the Flat Dilatometer (DMT'12)*, 89-96.

Ismail, M. A., Kassim, K. A. (2004). Comparison of undrained shear strength by pressuremeter and other tests. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 9 (Bundle F), 1-13.

Kamei, T., Iwasaki, K. (1995). Evaluation of Undrained Shear Strength of Cohesive Soils Using a Flat Dilatometer. *Soils and Foundations*, 35(2), 111-116.

Kiousis, P. D., Tumay, M. T. (2001). Comparison of constrained moduli from DMT versus CPT in clayey and silty sands. *Geotechnical Testing Journal*, 24(4), 394-401.

Lê, T. T. (2018). Ứng dụng DMT trong xác định các chỉ tiêu cơ học đất yếu. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, 59(4), 37-42

Lê, T. T., Nguyễn, V. P. (2010). Xác định sức kháng cắt không thoát nước của đất yếu bằng các thí nghiệm hiện trường. *Tuyển tập Báo cáo Hội nghị Khoa học lần thứ 19, Trường Đại học Mỏ - Địa chất*.

Lutenegger, A. J. (1990). Cavity expansion model to estimate undrained shear strength in soft clay from Dilatometer. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 9(4), 226-232.

Lutenegger, A. J. (2021). Method to compute undrained shear strength in soft clays with DMT A and C readings. *Proceedings of the 4th International Flat Dilatometer Conference (DMT'21)*.

Lutenegger, A. J., Kabir, M. G. (1988). Dilatometer C-reading to help determine stratigraphy. *Proceedings of the Int. Symposium on Penetration Testing ISOPT-1*, Orlando, Vol. 1, 549-553.

Marchetti, S. (1980). In situ tests by Flat Dilatometer. *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 106(GT3), 299-321.

Marchetti, S. (2001). *Flat Dilatometer Manual* (2001 Edition). L'Aquila, Italy: Studio Prof. Marchetti.

Mayne, P. W., Peuchen, J. (2018). Evaluation of CPTU Nkt cone factor for undrained strength of clays. *In Cone Penetration Testing*, 423-429.

Monaco, P., Marchetti, S., Totani, G., & Calabrese, M. (2005). Sand liquefiability assessment by flat dilatometer test (DMT). *In Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering* (Vol. 4, pp. 2693-2697). Millpress

Nguyễn, V. P. (2012). *Nghiên cứu ứng dụng thí nghiệm xuyên tĩnh có đo áp lực nước lỗ rỗng (CPTu) phục vụ thiết kế nền móng công trình ở đồng bằng Bắc Bộ*. Đề tài cơ sở mã số T12-32, Trường Đại học Mỏ - Địa chất.

Nguyễn, V. P. (2015). *Nghiên cứu các đặc tính xây dựng của đất yếu và đặc điểm cấu trúc nền đất yếu vùng ven biển Bắc Bộ, đề xuất các giải pháp gia cố, xử lý nền đất yếu thích hợp phục vụ xây dựng các công trình ven biển trong điều kiện biến đổi khí hậu và nước biển dâng*. Đề tài khoa học và công nghệ cấp Bộ, mã số CTB 2012-02-03.

Nguyễn, V. P., Tạ, Đ. T. (2008). Xác định các đặc trưng cơ học của đất yếu bằng thí nghiệm xuyên tĩnh có đo áp lực nước lỗ rỗng CPTu. *Tuyển tập Báo cáo Hội nghị Khoa học lần thứ 18, Trường Đại học Mỏ - Địa chất*.

Roque, R., Janbu, N., & Senneset, K. (1988). Basic interpretation procedures of flat dilatometer tests. *In Proceedings of 1st International Symposium on Penetration Testing*, Orlando, Florida, Vol. 1.

Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice (3rd ed.)*. John Wiley & Sons.