

TRƯỜNG ĐẠI HỌC TRÀ VINH (TVU)

HỘI ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH
VÀ MÔI TRƯỜNG VIỆT NAM (VAEGE)



HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC
ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH - ĐỊA KỸ THUẬT
VÀ MÔI TRƯỜNG PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG
(VIETGEO 2025)



NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

MỤC LỤC

Chủ đề I: ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH VÀ ĐỊA KỸ THUẬT

1. PHÁT HIỆN SẠT LỖ ĐẤT DỰA TRÊN KỸ THUẬT HỌC SÂU <i>Nguyễn Kim Cường, Kei Kawamura, Nguyễn Trung Kiên</i>	8
2. NGHIÊN CỨU CHẤT LƯỢNG CẤP PHỐI VỮA CHÈN LẤP VỎ HÀM TBM DỰ ÁN TUYẾN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ THÍ ĐIỂM THÀNH PHỐ HÀ NỘI, ĐOẠN NHỒN - GA HÀ NỘI <i>Nguyễn Thị Nụ, Bùi Trường Sơn, Ngô Thị Thoan, Ngô Văn Luyện</i>	15
3. GEOLOGICAL EVOLUTION AND GEOMORPHOLOGICAL HERITAGES OF THE NAM O ROCKY SHORE PLATFORM IN THE COASTAL AREA OF DANANG, VIETNAM <i>La Duong Hai, Pham Phuoc Toan, Do Quang Thien</i>	22
4. XÁC ĐỊNH CÁC CHỈ TIÊU CHO DỰ TÍNH ĐỘ LÚN ỔN ĐỊNH CỦA NỀN ĐẤT YẾU BẰNG THÍ NGHIỆM DILATOMETER, ÁP DỤNG CHO KHU VỰC CẢI MẾP <i>Nguyễn Văn Phóng, Phan Tự Hường, Phan Thành Tiền, Trương Thanh Cần</i>	32
5. NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG HỆ THỐNG PHÂN CẤP VÀ TIÊU CHÍ PHÂN ĐỊNH ĐỊA TẦNG ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH <i>Nguyễn Văn Phóng, Bùi Trường Sơn, Bùi Văn Bình, Nguyễn Song Thanh, Nguyễn Tiến Dũng</i>	43
6. NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG LỮ Bùn ĐÁ TẠI TRÀ LENG, THÀNH PHỐ ĐÀ NẴNG BẰNG PHẦN MỀM IRIC - MORPHO 2DH <i>Vũ Văn Kiên, Nguyễn Châu Lâm, Đỗ Tuấn Nghĩa</i>	53
7. KHẢO SÁT ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH CHO CÁC DỰ ÁN ĐIỆN GIÓ NGOÀI KHƠI: THỬ THÁCH VÀ KINH NGHIỆM THỰC TẾ <i>Trương Thanh Cần, Nguyễn Quỳnh Luân, Nguyễn Văn Phóng</i>	64
8. ỨNG DỤNG PHẦN MỀM STATISTICAL PROCESS TRONG XỬ LÝ THỐNG KÊ KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM ĐẤT ĐÁ <i>Phan Tự Hường, Đỗ Minh Tính</i>	73
9. NGHIÊN CỨU, ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP XỬ LÝ THẨM QUA NỀN ĐẬP HỒ CHỨA NƯỚC SÔNG THAN, TỈNH KHÁNH HÒA <i>Phạm Thị Ngọc Hà, Nguyễn Tấn Sơn, Bùi Trường Sơn, Nguyễn Thành Dương</i>	82
10. NGHIÊN CỨU ĐỊA KỸ THUẬT PHỤC VỤ QUY HOẠCH XÂY DỰNG ĐÔ THỊ ÁP DỤNG CHO PHƯỜNG HẢI DƯƠNG, THÀNH PHỐ HẢI PHÒNG <i>Đỗ Hồng Thắng</i>	91
11. PHÂN TÍCH THẨM VÀ ỔN ĐỊNH ĐẬP ĐẤT TRONG TRƯỜNG HỢP MỨC NƯỚC THƯỢNG LƯU HẠ THẤP NHANH <i>Nguyễn Văn Hường, Nguyễn Trung Quân, Nguyễn Thị Lộc, Nguyễn Văn Tươi, Nguyễn Quang Huy</i>	99
12. ĐÁNH GIÁ ỔN ĐỊNH ĐẬP ĐẤT KHI XẢY RA ĐỘNG ĐẤT: ÁP DỤNG CHO ĐẬP ĐẤT THƯỢNG KON TUM <i>Nguyễn Trung Quân, Nguyễn Quang Huy, Nguyễn Thị Lộc, Lê Ngọc Viên, Nguyễn Văn Hường</i>	109
13. ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA TỶ LỆ BẢN ĐỒ ĐỊA CHẤT ĐẾN VIỆC CHỌN TUYẾN ĐƯỜNG CAO TỐC TUYẾN QUANG - HÀ GIANG, ĐOẠN QUA TỈNH TUYẾN QUANG CŨ <i>Nguyễn Đức Đảm, Phạm Thái Bình, Nguyễn Đức Mạnh, Nguyễn Công Định</i>	120
14. NGHIÊN CỨU SỨC CHỐNG CẮT ĐẤT SÉT LẦN SÀN TRÊN MẪU CHẾ BỊ CÓ KÍCH THƯỚC KHÁC NHAU BẰNG THIẾT BỊ CẮT PHẪNG <i>Cao Trọng Công, Nguyễn Đức Mạnh, Nguyễn Châu Lâm, Phạm Thu Trang</i>	127

KHẢO SÁT ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH CHO CÁC DỰ ÁN ĐIỆN GIÓ NGOÀI KHƠI: THỬ THÁCH VÀ KINH NGHIỆM THỰC TẾ

Trương Thanh Cần^{1,*}, Nguyễn Quỳnh Luân¹, Nguyễn Văn Phóng²

¹Công ty Cổ phần Hàng hải và Năng lượng Hải Mã

²Trường Đại học Mở - Địa chất

*Tác giả liên hệ: Email: candytruong@seahorse.com.vn

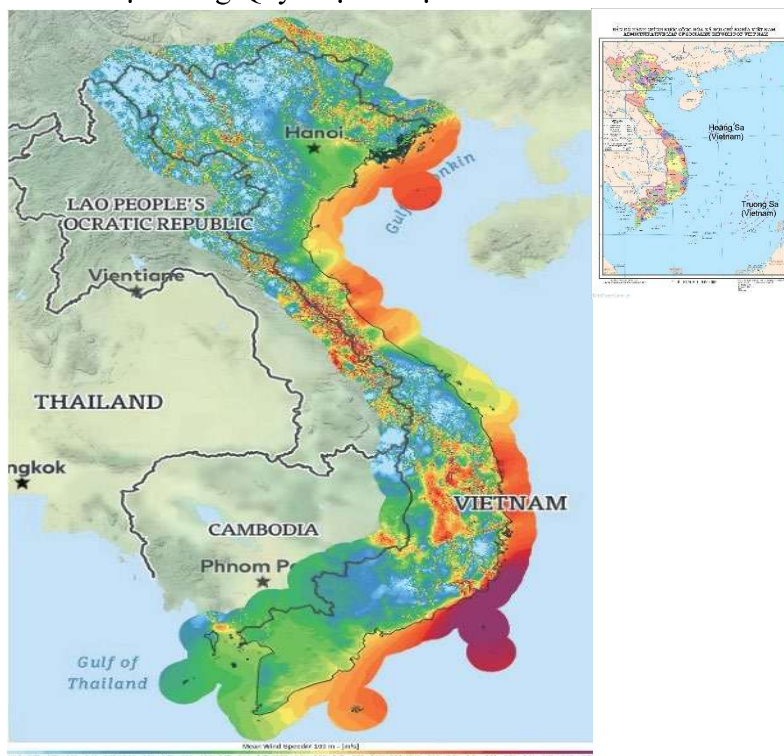
Tóm tắt

Sự phát triển mạnh mẽ của ngành năng lượng tái tạo đang thúc đẩy các dự án điện gió ngoài khơi tại Việt Nam. Công tác khảo sát địa chất công trình (ĐCCT) đóng vai trò then chốt, cung cấp dữ liệu nền tảng cho thiết kế móng turbine và hệ thống cáp ngầm. Trong thực tế triển khai, khảo sát ĐCCT ngoài khơi gặp nhiều thách thức, đặc biệt là độ sâu nước lớn và địa tầng phức tạp, điều kiện hải văn khắc nghiệt; yêu cầu tuân thủ đồng thời các tiêu chuẩn quốc tế và quy định trong nước. Bài báo chia sẻ một số kinh nghiệm thực tiễn trong việc tổ chức và thực hiện khảo sát ĐCCT cho các dự án điện gió tại Việt Nam, bao gồm chuẩn bị dữ liệu, lựa chọn thiết bị, triển khai thí nghiệm hiện trường - trong phòng và công tác lập báo cáo. Các kết quả và kinh nghiệm này góp phần xây dựng phương án khảo sát an toàn, hiệu quả, đáp ứng yêu cầu kỹ thuật và hỗ trợ phát triển bền vững điện gió ngoài khơi ở Việt Nam.

Từ khóa: Điện gió ngoài khơi; Khảo sát địa chất công trình; Nền móng turbine; Flidar.

1. Đặt vấn đề

Điện gió ngoài khơi đang trở thành giải pháp chiến lược trong chuyển dịch năng lượng toàn cầu, góp phần giảm phát thải khí nhà kính và bảo đảm an ninh năng lượng. Việt Nam được đánh giá là một trong những quốc gia có tiềm năng điện gió ngoài khơi lớn nhất Đông Nam Á, đặc biệt tại các khu vực ven biển miền Trung và miền Nam. Theo báo cáo của Ngân hàng Thế giới (2021), tổng tiềm năng kỹ thuật của điện gió ngoài khơi tại Việt Nam lên tới hàng trăm GW, tạo tiền đề cho các chiến lược phát triển dài hạn trong Quy hoạch Điện VIII.



Hình 1. Bản đồ tốc độ gió trung bình của Việt Nam

Trước năm 2021, phát triển điện gió chủ yếu tập trung ở khu vực trên bờ và gần bờ nhờ cơ chế giá FIT, nhưng xu hướng hiện nay đã dịch chuyển ra xa bờ với quy mô công suất lớn hơn, kéo theo yêu cầu khắt khe về công nghệ, thiết kế móng và khảo sát ĐCCT.

Công tác khảo sát ĐCCT là bước nền tảng, cung cấp dữ liệu quyết định cho thiết kế móng, đánh giá rủi ro và bảo đảm thi công an toàn các dự án điện gió ngoài khơi. Trong thực tiễn, quá trình này thường gặp nhiều trở ngại như độ sâu nước vượt giới hạn của thiết bị thông thường, điều kiện hải văn khắc nghiệt, địa tầng biến đổi phức tạp, nguy cơ vật nổ chưa phát hiện (UXO) và sự chồng chéo giữa hệ thống tiêu chuẩn quốc tế với quy định trong nước. Trước bối cảnh đó, bài báo tập trung phân tích các thách thức điển hình, giới thiệu những yêu cầu kỹ thuật cập nhật theo chuẩn quốc tế, đồng thời tổng hợp kinh nghiệm triển khai các dự án tương tự nhằm đề xuất định hướng phương án khảo sát ĐCCT phù hợp, an toàn và hiệu quả hơn cho các dự án khảo sát điện gió ngoài khơi tại Việt Nam trong thời gian tới.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

Khảo sát ĐCCT cho điện gió ngoài khơi được định hướng bởi nhiều tiêu chuẩn quốc tế quan trọng như DNV-GL, API RP 2GEO và ISO. Các tiêu chuẩn này đưa ra yêu cầu về phạm vi khảo sát, phương pháp thu thập dữ liệu, chỉ tiêu thí nghiệm mẫu đất tại hiện trường và trong phòng thí nghiệm, nhằm đảm bảo độ tin cậy của kết quả, phục vụ thiết kế và thi công móng turbine gió. Bên cạnh đó, các dự án thực tế cũng cho thấy nhu cầu ứng dụng các công nghệ khảo sát tiên tiến, đáp ứng yêu cầu đặc thù về độ sâu nước lớn, điều kiện hải văn khắc nghiệt và địa chất phức tạp.

2.1 Một số yêu cầu kỹ thuật mới của thiết bị khảo sát ĐCCT ngoài khơi

Trong các dự án điện gió ngoài khơi, việc lựa chọn phương tiện, thiết bị khảo sát ĐCCT phù hợp đóng vai trò then chốt quyết định đến tính an toàn và chất lượng dữ liệu thu được.

Tàu khoan khảo sát chuyên dụng: Là tàu được thiết kế để đảm bảo giữ nguyên vị trí trong suốt quá trình khoan và thí nghiệm. Có thể xem xét sử dụng tàu 4 điểm neo cho khu vực khảo sát có độ sâu dưới 80m, tuy nhiên loại tàu này có thời gian thu thả neo lâu và tính cơ động không cao. Trong khi các tàu sử dụng hệ thống định vị động học (Dynamic Positioning - DP) có thể duy trì vị trí chính xác trong điều kiện sóng, gió và dòng chảy phức tạp mà không cần sự hỗ trợ của các phương tiện khác hay hệ thống 4 điểm neo. Điều này giúp cho các tàu khoan trang bị hệ thống định vị động học luôn được lựa chọn để thực hiện công tác khảo sát và thí nghiệm hiện trường cho các dự án điện gió.



Hình 2. Tàu khoan chuyên dụng trang bị hệ thống định vị động học DP2 và giàn khoan ĐCCT

Hệ thống thiết bị khoan: Các tàu khoan khảo sát biển thường được trang bị hệ thống khoan Top Drive và hệ cần khoan API đường kính 5 ½ inch cho phép bộ dụng cụ lấy mẫu và các thí nghiệm hiện trường có thể triển khai bên trong cần khoan.

Hệ thống bù sóng (Motion Compensator): Hệ thống bù sóng hiệu quả cần có hành trình bù tối thiểu 3.5m, cho phép tàu làm việc ổn định trong điều kiện sóng biển từ 2.5m đến 3.0m. Nhờ đó, đảm bảo hệ thống cần khoan không bị ảnh hưởng bởi tác động của sóng, gió và thay đổi mực nước thủy triều, từ đó chất lượng của mẫu lấy được và dữ liệu thí nghiệm hiện trường được tối ưu.

Thiết bị hạ cánh đáy biển (Seabed Frame): thiết bị có trọng lượng từ 10 đến 20 tấn được thả xuống bề mặt đáy biển, cho phép hệ thống cần khoan đi qua và có chức năng giữ hệ thống cần khoan ổn định tại vị trí khoan trong suốt quá trình khoan. Giải pháp này được chứng minh là hiệu quả trong vùng nước sâu hoặc nơi có dòng chảy lớn khi triển khai công tác khoan và thí nghiệm hiện trường.

2.2 Các phương pháp thí nghiệm hiện trường và trong phòng

Các thí nghiệm hiện trường đóng vai trò cực kỳ quan trọng trong việc thu thập dữ liệu ĐCCT trực tiếp tại khu vực dự án, giúp đánh giá chính xác các tính chất cơ lý của đất nền trong điều kiện tự nhiên.

Thí nghiệm xuyên tĩnh PCPT: Các hệ thống PCPT được thiết kế với khả năng xuyên sâu và thu thập dữ liệu liên tục. CPT piezocone kèm đo áp lực nước lỗ rỗng cho phép phân tích chi tiết hơn các lớp đất nền và trạng thái ứng suất ban đầu.

Siesmic PCPT là phiên bản nâng cao của PCPT, tích hợp cảm biến đo sóng địa chấn tại đầu xuyên. Khi nguồn sóng được kích hoạt, cảm biến ghi nhận thời gian lan truyền sóng cắt (S-wave) để xác định vận tốc sóng cắt (V_s). Thông số V_s là đầu vào quan trọng để tính mô đun cắt động (G_{max}), phục vụ phân tích đáp ứng động của móng turbine dưới tác động của gió và sóng (Bhattacharya, 2019).

Trong khảo sát địa chất công trình ngoài khơi, phương pháp xuyên tĩnh PCPT có thể được triển khai theo hai cấu hình chính là Seabed CPT và Downhole CPT, tùy thuộc vào điều kiện địa chất và yêu cầu kỹ thuật. Bảng 1 trình bày so sánh đặc điểm cơ bản giữa hai phương pháp này.

Bảng 1. So sánh đặc điểm giữa Seabed CPT và Downhole CPT

Tiêu chí	Seabed PCPT	Downhole PCPT
Vị trí thực hiện	Trực tiếp tại đáy biển, không cần hố khoan	Trong hố khoan đã tạo sẵn từ tàu khoan
Cơ chế vận hành	Tự hành trên đáy biển, sử dụng bộ đẩy thủy lực tích hợp	Xuyên bằng hệ thống thủy lực từ giàn khoan, thông qua cần khoan
Độ sâu khảo sát	Giới hạn ở độ xuyên sâu khoảng 40-60 m từ đáy biển	Có thể khảo sát rất sâu (lên đến >150 m từ đáy biển), tùy chiều sâu hố khoan
Khả năng xuyên	Giới hạn, khó xuyên vào lớp đất rất chặt hoặc có đá	Tốt, có thể xuyên qua lớp sét rất cứng hoặc gần đá gốc
Độ ổn định dữ liệu	Ổn định cao, do thiết bị nằm trực tiếp trên đáy biển	Bị ảnh hưởng bởi điều kiện hố khoan và chuyển động cần khoan
Ưu điểm	Tự động, nhanh chóng, độ chính xác cao ở tầng đất nông và trung bình	Phù hợp khảo sát sâu, xuyên qua lớp rất cứng, dễ kết hợp các thí nghiệm khác
Hạn chế	Không xuyên được các lớp đất rất chặt hoặc chứa sỏi/đá lớn	Cần kết hợp với khoan phá, chi phí và thời gian cao hơn

Thí nghiệm Vane Shear Test (VST): Được sử dụng tại chỗ để xác định sức kháng cắt không thoát nước của lớp đất sét mềm, VST giúp tránh các sai số do làm xáo trộn mẫu trong quá trình lấy mẫu hoặc do ảnh hưởng trong quá trình lưu trữ mẫu đưa về bờ.

Thí nghiệm P-S Suspension Logging: P-S logging (hoặc seismic suspension logging) là

phương pháp đo vận tốc truyền sóng dọc (P-wave) và sóng ngang (S-wave) trong đất/đá. Thiết bị bao gồm nguồn phát sóng và cặp geophone treo trong lỗ khoan (suspension tool), cho phép đo trực tiếp vận tốc cắt và nén tại các độ sâu khác nhau. Các thông số thu được rất quan trọng trong việc xác định mô đun đàn hồi động của nền đất, phục vụ phân tích đáp ứng động (dynamic response) và đánh giá ổn định của móng turbine dưới tải trọng sóng - gió. Trong các dự án điện gió ngoài khơi, đặc biệt với móng monopile và jacket, dữ liệu từ P-S logging thường được sử dụng cùng với CPT seismic để hiệu chuẩn mô hình địa kỹ thuật động (DNV GL, 2018).

Công tác thí nghiệm mẫu đất: Bên cạnh các thí nghiệm cơ lý mẫu đất truyền thống thường được yêu cầu trong các dự án khảo sát trên bờ như: xác định các chỉ tiêu vật lý (độ ẩm tự nhiên, khối lượng thể tích, tỷ trọng hạt, giới hạn chảy, giới hạn dẻo, thành phần hạt), thí nghiệm sức kháng cắt (cắt trực tiếp, ba trục UU, CU, CD) và thí nghiệm nén cô kết, các dự án khảo sát điện gió ngoài khơi thường chú trọng đến các thí nghiệm nâng cao (Advanced Test). Các thí nghiệm này được thiết kế để cung cấp các thông số đặc biệt, phục vụ tính toán ảnh hưởng của tải trọng động, động đất, và các tai biến địa chất có thể xảy ra cho công trình điện gió, đảm bảo thiết kế bền vững và an toàn trong môi trường biển, trong đó có thể kể đến một số thí nghiệm điển hình như sau:

- Thí nghiệm ba trục có tải trọng lặp (Cyclic Triaxial Test): Các loại thí nghiệm triaxial như CU, CD kết hợp với tải trọng lặp giúp đánh giá hành vi mỏi của đất nền, đặc biệt quan trọng cho móng monopile hoặc jacket làm việc trong môi trường sóng gió liên tục.

- Thí nghiệm động lực học đất (Dynamic Soil Testing) nhằm xác định các thông số động phục vụ phân tích đáp ứng động của nền đất dưới tác động của sóng, gió và địa chấn. Nhóm thí nghiệm này bao gồm: thí nghiệm cột cộng hưởng (Resonant Column), dùng để xác định mô đun cắt nhỏ nhất G_{max} và hệ số giảm chấn ở mức biến dạng rất nhỏ; thí nghiệm cắt đơn chu kỳ (Cyclic Direct Simple Shear - DSS), mô phỏng ứng suất cắt chu kỳ trên mặt phẳng đơn để phân tích hành vi biến dạng và nguy cơ hóa lỏng và thí nghiệm ba trục chu kỳ (Cyclic Triaxial), đánh giá ứng xử biến dạng và suy giảm cường độ của đất dưới tác động nạp/dỡ tải chu kỳ.

- Thí nghiệm nhiệt trở suất (Thermal Conductivity Test) xác định hệ số dẫn nhiệt của đất, phục vụ thiết kế và phân tích phát nhiệt quanh cáp điện ngầm ngoài khơi, nhằm đảm bảo hiệu suất và tuổi thọ hệ thống truyền tải (Fichtner, 2020).

- Thí nghiệm đá nâng cao (Advanced Rock Testing) được thực hiện khi móng turbine đặt trên hoặc xuyên qua nền đá, nhằm đánh giá sức kháng và biến dạng của khối đá. Gồm các thí nghiệm cường độ nén một trục (UCS), ba trục, mô đun biến dạng và tính thấm, phục vụ phân tích ổn định và khả năng chịu lực của móng neo trên đá.

2.3 Phương pháp kiểm định chất lượng mẫu

Kiểm định chất lượng mẫu bằng X-ray: Một số dự án đã ứng dụng công nghệ quét cắt lớp (X-ray) để kiểm tra chất lượng mẫu nguyên dạng, qua phân tích hình ảnh có thể đánh giá được chi tiết phân bố các lớp đất ở phạm vi nhỏ, các thấu kính và thành phần vật chất xen kẽ của mẫu đất trong ống mẫu thành mỏng. Từ đó có thể lựa chọn vị trí mẫu có tính đại diện nhất đưa vào thí nghiệm để đạt kết quả tối ưu, đồng thời tránh lãng phí thí nghiệm trên mẫu không mang tính đại diện hoặc đã bị xáo trộn.

3. Kết quả và thảo luận

3.1 Những thách thức trong khảo sát ĐCCT ngoài khơi

Khác với công tác khảo sát ĐCCT cho các dự án trên bờ và khu vực gần bờ, vị trí khảo sát ĐCCT cho các dự án điện gió ngoài khơi thường cách bờ hàng chục hải lý, khu vực có độ sâu nước lớn đặt ra nhiều thách thức do sự kết hợp giữa điều kiện môi trường biển khắc nghiệt, đặc điểm địa chất phức tạp và yêu cầu về công tác an toàn và kỹ thuật cao của dự án. Dựa trên kinh nghiệm thực tế triển khai dự án tương tự, cùng với tổng hợp từ các nghiên cứu quốc tế, một số thách thức chính bao gồm:

- Độ sâu nước lớn và địa chất phức tạp: Với các dự án điện gió ngoài khơi, độ sâu nước tại khu vực khảo sát thường từ 30m trở lên. Đặc biệt, trong các dự án sử dụng phương án chân trụ điện gió nổi (offshore floating wind), độ sâu nước tại vị trí khảo sát có thể từ 200m đến 400m. Với độ sâu này, các giàn Jack-up gần bờ, các phao công trình hay xà lan không thể thực hiện được công việc. Trong khi đó, yêu cầu kỹ thuật đòi hỏi thiết bị khoan và thí nghiệm hiện trường phải có khả năng hoạt động hiệu quả ở độ sâu lớn và điều kiện áp địa chất phức tạp.

- Điều kiện thủy hải văn khắc nghiệt: Các vùng biển ngoài khơi thường có điều kiện thủy hải văn phức tạp, sóng lớn, dòng chảy mạnh và thời tiết biến động thất thường. Những yếu tố này ảnh hưởng đáng kể đến khả năng giữ vị trí ổn định của phương tiện khảo sát, đặc biệt đối với các thí nghiệm hiện trường yêu cầu độ chính xác cao như CPT xuyên sâu hoặc VST, PS Logging,... Báo cáo của ISFOG 2025 cũng ghi nhận điều kiện hải văn là một trong những rào cản lớn nhất đối với khảo sát ĐCCT ngoài khơi ở khu vực châu Á - Thái Bình Dương (Lakeman et al., 2025).

- Rủi ro từ UXO và dị thường địa chất: Khu vực biển Việt Nam từng là chiến trường, do đó nguy cơ hiện diện vật thể nổ chưa phát nổ (UXO) vẫn còn cao, đòi hỏi các chiến dịch rà phá kỹ lưỡng trước khi tiến hành công tác khoan (The Crown Estate, 2021).

- Tiêu chuẩn kỹ thuật: Trong thực tế triển khai, các nhóm khảo sát cần tuân thủ đồng thời các tiêu chuẩn quốc tế như DNV-GL, API RP 2GEO và ISO, bên cạnh các quy định pháp luật Việt Nam liên quan đến tài nguyên biển, bảo vệ môi trường và an toàn hàng hải.

- Yêu cầu nhân lực và thiết bị chuyên dụng: Công tác khảo sát tại các vùng biển ngoài khơi đòi hỏi phải sử dụng tàu chuyên dụng được trang bị hệ thống định vị động học (Dynamic Positioning), hệ thống thiết bị thí nghiệm hiện trường Seabed CPT, PS Logging, Vane Shear thiết kế phù hợp với hệ thống giàn khoan trên tàu. Các nhân sự kỹ thuật địa chất phải có kinh nghiệm chuyên môn làm việc trong các dự án khảo sát biển và phải được đào tạo về an toàn và ứng phó khẩn cấp trong môi trường làm việc ngoài khơi (BOSIET). Đồng thời, việc triển khai thực hiện dự án theo các tiêu chuẩn quốc tế đòi hỏi kỹ năng ngoại ngữ cao đối với các nhân sự tham gia dự án.

3.2 Kinh nghiệm triển khai thực tế

Dựa trên các yêu cầu và thách thức đã nêu, phương án khảo sát ĐCCT toàn diện cho dự án điện gió ngoài khơi thường được triển khai theo các bước sau, nhằm giảm thiểu rủi ro, tối ưu hóa chi phí.

3.2.1 Công tác thu thập, phân tích và thống kê tài liệu hiện hữu (Desktop Study)

Trước khi triển khai khảo sát thực địa, nhóm khảo sát cần thu thập và phân tích toàn bộ dữ liệu có sẵn liên quan đến khu vực dự án, bao gồm bản đồ địa chất - địa vật lý, đặc điểm trầm tích đáy, điều kiện hải văn - khí tượng thủy văn, luồng tuyến hàng hải cũng như dữ liệu lịch sử chiến tranh. Các nguồn dữ liệu phổ biến thường được sử dụng là bản đồ địa chất hải văn quốc gia, dữ liệu khảo sát dầu khí cũ (nếu có), ảnh vệ tinh và sonar khu vực, cùng các báo cáo đánh giá tác động môi trường của các dự án lân cận. Việc phân tích các dữ liệu này giúp khoanh vùng các rủi ro địa chất tiềm ẩn, xác định sơ bộ vị trí hố khoan, từ đó xây dựng kế hoạch khảo sát hợp lý và hiệu quả hơn.

3.2.2 Khảo sát quan trắc hải dương, khí tượng hải văn và đánh giá tác động môi trường (EIA)

Các thiết bị như FLiDAR hoặc phao đo hải dương (buoy) được triển khai để ghi nhận dữ liệu gió, sóng, dòng chảy, nhiệt độ và độ mặn trong suốt thời gian quan trắc từ 12 đến 24 tháng. Dữ liệu này là cơ sở quan trọng cho thiết kế tải trọng động và phân tích ổn định móng turbine gió ngoài khơi (Cooperman et al., 2024). Song song đó, đánh giá tác động môi trường cần được thực hiện sớm trong giai đoạn phát triển dự án nhằm nhận diện các rủi ro tiềm tàng về môi trường và đảm bảo tuân thủ các yêu cầu pháp lý hiện hành.

3.2.3 Khảo sát Địa vật lý (Geophysical Site Survey)

Khảo sát địa vật lý được thực hiện để lập bản đồ địa hình đáy biển, xác định rủi ro như chướng ngại vật, tầng đất yếu, khí nông, UXO... Các thiết bị phổ biến gồm:

- MBES (Multi-Beam Echo Sounder): lập bản đồ địa hình đáy biển;
- SSS (Side Scan Sonar): phát hiện vật thể bất thường và dị thường bề mặt;
- SBP/UHRS (Sub-Bottom Profiler/ Ultra High Resolution Seismic): xác định địa tầng nông, độ sâu tầng đá gốc hoặc lớp đất cứng, phát hiện khí nông và các dị thường địa chất;
- Magnetometer: phát hiện vật thể từ tính, đặc biệt là UXO.

Kết quả khảo sát địa vật lý đóng vai trò định hướng cho toàn bộ chiến dịch khoan sau đó (Society for Underwater Technology, 2014).

3.2.4 Rà phá bom mìn (UXO Clearance)

Dựa trên kết quả khảo sát địa vật lý, các vị trí nghi có UXO sẽ được rà phá trước khi khoan. Đây là bước bắt buộc nhằm đảm bảo an toàn cho thiết bị và nhân lực, đặc biệt ở các khu vực từng là chiến trường (The Crown Estate, 2021).

3.2.5 Khoan Khảo sát ĐCCT (Geotechnical Survey)

Sau khi hoàn tất khảo sát địa vật lý và xác định vị trí khoan, tàu khoan khảo sát chuyên dụng sẽ được huy động để thực hiện khoan địa chất, nhằm thu thập mẫu đất nguyên dạng và tiến hành thí nghiệm hiện trường.

Khoan lấy mẫu nguyên dạng (Shelby/Piston Core) là phương pháp quan trọng để thu thập đất không bị xáo trộn, đặc biệt là đất sét mềm, ở độ sâu 30-80 m (hoặc sâu hơn) tùy theo yêu cầu thiết kế móng. Mẫu nguyên dạng có ý nghĩa then chốt trong việc xác định chính xác các thông số cơ lý của đất thông qua thí nghiệm trong phòng, phản ánh đúng trạng thái tự nhiên của đất dưới đáy biển.

3.2.6 Các thí nghiệm hiện trường

Các thí nghiệm hiện trường (Seismic CPT, PCPT, VST, PS logging ...) được thực hiện trực tiếp tại vị trí khoan hoặc độc lập, nhằm cung cấp dữ liệu tức thời và chính xác về tính chất của đất nền, giảm thiểu rủi ro do quá trình lấy mẫu và vận chuyển. Việc lựa chọn thiết bị phù hợp với địa tầng và độ sâu nước là yếu tố quyết định chất lượng dữ liệu thu được.

3.2.7 Phòng thí nghiệm ở hiện trường (Offshore Laboratory Testing)

Để đảm bảo chất lượng mẫu và có thông tin địa chất sơ bộ kịp thời, các dự án điện gió ngoài khơi yêu cầu bố trí phòng thí nghiệm ngay trên tàu khoan. Phòng thí nghiệm cần được trang bị đầy đủ thiết bị để thực hiện ngay các thí nghiệm cơ lý cơ bản như: xác định độ ẩm tự nhiên, khối lượng thể tích, sức kháng cắt không thoát nước... Việc thử nghiệm ngay sau khi lấy mẫu giúp bảo toàn đặc tính nguyên dạng của đất, tránh sai lệch do vận chuyển và lưu trữ.

Các dự án quốc tế thường áp dụng các tiêu chuẩn như ISO, ASTM hoặc BS, đòi hỏi phòng thí nghiệm và nhân sự phải đáp ứng tiêu chuẩn quốc tế.

Ngoài ra, đối với các thí nghiệm chuyên sâu yêu cầu thiết bị đặc biệt và điều kiện kiểm soát nghiêm ngặt, mẫu đất/đá cần được lưu trữ theo đúng quy định kỹ thuật về nhiệt độ, độ ẩm và áp suất nhằm đảm bảo chất lượng trong quá trình vận chuyển đến các phòng thí nghiệm chuyên dụng. Điều này có thể ảnh hưởng đến chi phí và tiến độ dự án, do đó cũng cần được xem xét trong giai đoạn lập kế hoạch.

3.2.8 Phòng thí nghiệm trên bờ (Onshore Laboratory Testing)

Các mẫu đất được bảo quản trong điều kiện kiểm soát và vận chuyển cẩn thận về phòng thí nghiệm chuyên dụng trên bờ sau khi hoàn tất chiến dịch khảo sát hiện trường hoặc trong từng đợt cập cảng đối với dự án dài ngày. Việc vận chuyển mẫu theo từng đợt không những giúp rút ngắn thời gian xử lý và phân tích, mà còn đảm bảo mẫu được thí nghiệm trong trạng thái gần với điều kiện tự nhiên nhất. Thí nghiệm chi tiết được tiến hành nhằm xác định các đặc trưng cơ lý, hóa lý và biến dạng của đất nền, làm cơ sở cho phân tích địa kỹ thuật và thiết kế móng công trình ngoài khơi, bao gồm:

- Các chỉ tiêu thí nghiệm vật lý bao gồm xác định độ ẩm tự nhiên, giới hạn Atterberg, tỷ trọng hạt, thành phần hạt. Các chỉ tiêu này giúp phân loại đất và đánh giá đặc trưng ban đầu.

- Các chỉ tiêu thí nghiệm cơ học sử dụng các thí nghiệm ba trục (UU, CU, CD), cắt trực tiếp, nén cố kết để đánh giá sức kháng cắt và độ lún. Với môi trường tải trọng động, thí nghiệm ba trục lặp và cố kết động được sử dụng để đánh giá ứng xử đất dưới tác động sóng gió.

- Thử nghiệm hóa lý phân tích pH, Cl^- , SO_4^{2-} , độ dẫn điện, độ dẫn nhiệt. Kết quả này nhằm đánh giá nguy cơ ăn mòn và hiệu suất truyền nhiệt và là thông tin quan trọng cho thiết kế móng và cáp ngầm.

- Các thí nghiệm nâng cao được triển khai để đánh giá ứng xử đất dưới tác động động. Thí nghiệm ba trục lặp và cố kết động xác định khả năng mỏi, biến dạng và độ lún của đất sét mềm. Các thí nghiệm động lực học như cột cộng hưởng và cắt chu kỳ (DSS) cung cấp thông tin về mô đun cắt, hệ số tắt dần và nguy cơ hóa lỏng, hỗ trợ hiệu chỉnh mô hình và thiết kế móng tối ưu.

3.3 Lập báo cáo kỹ thuật

Công tác lập báo cáo nên được thực hiện đồng thời với khảo sát nhằm đảm bảo dữ liệu được xử lý kịp thời, hỗ trợ hiệu quả cho thiết kế. Báo cáo thường được lập theo từng giai đoạn kỹ thuật để phục vụ quản lý và ra quyết định.

Bảng 2. Nội dung và lịch trình bàn giao báo cáo trong dự án

Loại báo cáo	Yêu cầu chính	Lịch trình dự kiến
Báo cáo Hiện trường Field Report	Mô tả tổng thể quá trình thực hiện khảo sát hiện trường và chi tiết hoạt động khảo sát, công tác định vị, đo sâu, biểu đồ CPT, nhật ký khoan, hình trụ hố khoan, các thí nghiệm hiện trường, thông tin mẫu và tổng hợp số liệu thí nghiệm mẫu đất trên tàu.	01 tuần sau khi hoàn tất toàn bộ chiến dịch khảo sát.
Báo cáo Thực tế Factual Report	Tổng hợp toàn bộ dữ liệu (ĐCCT hiện trường, thí nghiệm trong phòng). Trình bày dữ liệu bao gồm diễn giải, bản vẽ, tọa độ, cao độ, chứng chỉ hiệu chuẩn thiết bị.	04 tuần sau khi kết thúc toàn bộ chiến dịch hiện trường (Tùy thuộc vào khối lượng thí nghiệm và thời gian chuyển mẫu).
Báo cáo Minh giải Interpretation Report	Phân tích địa tầng và các rủi ro địa kỹ thuật (xói lở, khí nông, trượt). Đề xuất thông số thiết kế (sức chịu tải, mô đun biến dạng, độ lún...). Là cơ sở cho thiết kế móng.	08 tuần sau khi Báo cáo Thực tế được hoàn thành và cung cấp đầy đủ dữ liệu. (Tùy thuộc vào thời gian thực thực hiện thí nghiệm mẫu đất trong phòng).
Báo cáo mô hình hóa Modeling Report	Xây dựng mô hình địa kỹ thuật 3D dựa trên tổng hợp tất cả các dữ liệu (Desktop Study, Geophysical, Field Test, Geotechnical, Onshore Lab Test). Cung cấp trực quan hóa và dữ liệu đầu vào cho phân tích SSI.	Song song hoặc ngay sau khi Báo cáo Minh giải được biên soạn (thường là sản phẩm đi kèm hoặc phụ lục của Báo cáo Minh giải).

4. Kết luận

Điện gió ngoài khơi đang trở thành một trong những trụ cột quan trọng trong chiến lược chuyển dịch năng lượng tại Việt Nam. Trong toàn bộ vòng đời dự án, khảo sát địa chất công trình (ĐCCT) giữ vai trò nền tảng, quyết định đến thiết kế móng, đánh giá rủi ro và hiệu quả đầu tư.

Qua kinh nghiệm thực tế triển khai tại một số dự án, có thể rút ra ba thách thức chính trong khảo sát ĐCCT ngoài khơi tại Việt Nam: (i) độ sâu nước lớn và địa tầng phức tạp, (ii) điều kiện hải văn khắc nghiệt, và (iii) yêu cầu tuân thủ đồng thời các tiêu chuẩn quốc tế và quy định trong nước. Bên cạnh đó, công tác khảo sát đòi hỏi phương tiện - thiết bị chuyên dụng, đội ngũ kỹ sư có kinh nghiệm thực địa, cũng như hệ thống xử lý và minh giải số liệu đáp ứng chuẩn quốc tế.

Đề nâng cao chất lượng khảo sát và đáp ứng yêu cầu ngày càng cao của các dự án điện gió ngoài khơi, nhóm tác giả kiến nghị:

- Đầu tư hạ tầng thiết bị khảo sát chuyên dụng (tàu DP, thiết bị CPTu seismic, PS Logging...).
- Đào tạo và phát triển nhân lực có trình độ chuyên môn cao, đáp ứng các chứng chỉ quốc tế (API, DNV, ISO, BOSIET).
- Ứng dụng công nghệ số và mô hình hóa 3D trong xử lý và minh giải số liệu địa kỹ thuật.
- Xây dựng hướng dẫn và tiêu chuẩn quốc gia về khảo sát ĐCCT cho điện gió ngoài khơi, phù hợp điều kiện Việt Nam.

Các định hướng trên sẽ giúp công tác khảo sát ĐCCT tại Việt Nam tiệm cận chuẩn quốc tế, đồng thời tối ưu hóa chi phí, rút ngắn tiến độ và bảo đảm an toàn - hiệu quả cho các dự án điện gió ngoài khơi.

Tài liệu tham khảo

- Cooperman, M. Hall, S. Housner, C. Hein, P. Duffy, D. M. Hernando, L. Carmo, F. Moreno, and W. Musial, Investigation of the challenges of offshore wind in ultradeep water. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, 2024.
- DNV GL, Data gathering process: Geotechnical departures for offshore wind energy, 2018.
- Fichtner Water & Transportation GmbH, Presentation and comparison of site investigation methods for offshore wind energy in the European North Seas countries in the context of the EU North Seas Energy Cooperation. Umwelt Bundesamt, 2020.
- J. W. A. Lakeman, P. R. Larbalestier, and Y. S. Shin, "Site investigation strategies for offshore wind development in Asia-Pacific," in Proc. 5th Int. Symp. Frontiers in Offshore Geotechnics (ISFOG 2025), Nantes, France, 2025, pp. 1-7.
- Society for Underwater Technology, Guidance notes for the planning and execution of geophysical and geotechnical ground investigations for offshore renewable energy developments. London: SUT, 2014.
- The Crown Estate and Wessex Archaeology, Archaeological written schemes of investigation for offshore wind farm projects. London: The Crown Estate, 2021.
- World Bank Group, Offshore wind development program: Wind roadmap for Vietnam. Washington, DC: World Bank, 2021.
- World Bank Group, A framework for private sector-led offshore wind projects in Viet Nam: Next steps for advancing Viet Nam's offshore wind journey. Washington, DC: World Bank, 2025.
- S. Bhattacharya, Design of foundations for offshore wind turbines. Chichester, UK: Wiley, 2019.
- Deutsche WindGuard GmbH, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), and University of Groningen, Case study: European offshore wind farms - A survey for the analysis of the experiences and lessons learnt by developers of offshore wind farms, 2005.

Geotechnical investigation for offshore wind projects: challenges and practical experiences

Truong Thanh Can^{1,*}, Nguyen Quynh Luan¹, Nguyen Van Phong

¹*Seahorse Marine and Energy Joint Stock Company*

²*Hanoi University of Mining and Geology*

**Corresponding author: Email: candytruong@seahorse.com.vn*

Abstract

The rapid global growth of the renewable energy sector is driving increasing demand for technical surveys and supporting infrastructure, with offshore wind power emerging as a strategic solution to reduce greenhouse gas emissions and ensure energy security. Vietnam is considered

one of the countries with the highest offshore wind potential in Asia. To ensure the feasibility, effectiveness, and safety of offshore wind projects, geotechnical investigation plays a vital role throughout all project life cycle stages. This paper provides an overview of offshore wind development in Vietnam, analyzes the unique technical challenges in conducting geotechnical investigations, updates recent international standards and technical requirements, and shares practical experiences from offshore wind survey campaigns already executed. These insights aim to contribute to the development of safe, technically sound, and cost-effective geotechnical survey strategies, thereby supporting suitable foundation design and the sustainable growth of offshore wind power in Vietnam.

Keywords: Offshore wind; Geotechnical investigation; Offshore geotechnics; Turbine foundations; FLiDAR.