

**PHÓ TỔNG BIÊN TẬP**  
**PGS.TS. ĐOÀN THẾ TƯỜNG**

**HỘI ĐỒNG BIÊN TẬP**

PGS.TS. PHÙNG MẠNH ĐẮC  
PGS.TS. HOÀNG VIỆT HÙNG  
PGS.TS. PHẠM QUANG HƯNG  
PGS.TS. NGUYỄN BÁ KẾ  
TS. PHÙNG ĐỨC LONG  
GS. NGUYỄN CÔNG MẪN  
PGS.TS. NGUYỄN ĐỨC MẠNH  
PGS.TS. NGUYỄN SỸ NGỌC  
PGS.TS. VÕ PHÁN  
PGS.TS. NGUYỄN HUY PHƯƠNG  
GS.TS. TRẦN THỊ THANH  
PGS.TS. VƯƠNG VĂN THÀNH  
TS. LÊ THIẾT TRUNG  
GS.TS. ĐỖ NHƯ TRĂNG  
PGS.TS. TRẦN THƯƠNG BÌNH  
TS. NGUYỄN TRƯỜNG HUY  
PGS.TS. ĐẬU VĂN NGỌ  
PGS.TS. TẠ ĐỨC THỊNH  
TS. NGUYỄN TUẤN PHƯƠNG

Giấy phép xuất bản số 1358/GPXB -  
Ngày 8-6-1996, Bộ Văn hóa - Thông tin  
Cơ quan xuất bản: Viện Địa Kỹ thuật  
(Liên hiệp các Hội KH&KT Việt Nam)  
152 Lê Duẩn - Đống Đa - Hà Nội  
Tel: 024. 22141917.  
Email: tapchidkt@yahoo.com.vn;  
viendkt@vusta.vn  
Website: www.vgi-vn.vn  
Xuất bản 3 tháng 1 kỳ  
Nộp lưu chiếu: tháng Bảy 2023

**Tạp chí ĐỊA KỸ THUẬT**

ISSN - 0868 - 279X

NĂM THỨ 27

SỐ 2 NĂM 2023

**MỤC LỤC**

<b>BÙI TRƯỜNG SƠN, LÂM NGỌC QUÍ:</b> Quan hệ của sức chống cắt không thoát nước với trạng thái ứng suất và độ chặt của sét mềm bão hòa nước	3
<b>NGUYỄN TIẾN DŨNG:</b> Dự tính ma sát âm của cọc theo phương pháp Meyerhof	9
<b>NGUYỄN ĐÌNH HỢP:</b> Về hiệu quả của thí nghiệm nén tĩnh dọc trục xác định sức mang tải của cọc	16
<b>BÙI TRƯỜNG SƠN, NGUYỄN THỊ NỤ, NGUYỄN THÀNH DƯƠNG, ĐỖ MINH NGỌC, NGUYỄN ĐỨC LÝ:</b> Đặc điểm trượt lở đất đá khu vực Quảng Bình	22
<b>NGUYỄN VĂN PHÓNG, LÊ VĂN QUYỀN, PHẠM MINH TUẤN:</b> Phân tích chọn búa đóng cọc Monopile cho trụ tua-bin điện gió tại khu vực gần bờ biển Sóc Trăng, Việt Nam	30
<b>ĐỖ NGỌC THÁI, NGUYỄN THẾ MỘC CHÂN:</b> Nghiên cứu ứng xử cơ học của hai đường hầm song song và công trình xây dựng lân cận	40
<b>PHẠM THANH TÙNG, NGUYỄN CHÂU LÂN, BÙI XUÂN CẬY, BÙI THANH QUANG, PHẠM TUẤN DŨNG:</b> Nghiên cứu xác định mô đun đàn hồi động của nền đất bằng thí nghiệm 3 trục động và các thí nghiệm hiện trường LWD, DCP	52
<b>NGUYỄN THÀNH AN:</b> Thiết lập phương trình tương quan thực nghiệm giữa góc ma sát trong và sức kháng xuyên tiêu chuẩn của đất sét, sét pha hệ tầng thái bình khu vực quận Thanh Xuân, thành phố Hà Nội	58
<b>LÊ BÁ VINH, PHẠM XUÂN TRUNG, TÔ LÊ HƯƠNG:</b> Phân tích, xác định sức chịu tải của cọc ép theo lý thuyết và theo thí nghiệm nén tĩnh tại khu vực Cần Thơ	63

**DEPUTY EDITORS-IN-CHIEF**  
Assoc. Prof., Dr. DOAN THE TUONG

**EDITORIAL BOARD**

Assoc. Prof. Dr. PHUNG MANH DAC  
Assoc. Prof., Dr. HOANG VIET HUNG  
Assoc. Prof., Dr. PHAM QUANG HUNG  
Assoc. Prof., Dr. NGUYEN BA KE  
Dr. PHUNG DUC LONG  
Prof. NGUYEN CONG MAN  
Assoc. Prof. Dr. NGUYEN DUC MANH  
Assoc. Prof., Dr. NGUYEN SY NGOC  
Assoc. Prof., Dr. VO PHAN  
Assoc. Prof., Dr. NGUYEN HUY PHUONG  
Prof., Dr. TRAN THI THANH  
Assoc. Prof., Dr. VUONG VAN THANH  
Dr. LE THIET TRUNG  
Prof., Dr. DO NHU TRANG  
Assoc. Dr. TRAN THUONG BINH  
Dr. NGUYEN TRUONG HUY  
Assoc. Prof., Dr. DAU VAN NGO  
Assoc. Prof., Dr. TA DUC THINH  
Dr. NGUYEN TUAN PHUONG

Printing licence No 1358/GPXB  
dated 8 June 1996 by the Minister of Culture and  
Information  
Published by the Vietnam Geotechnical Institute  
(Vietnam Union of Science and  
Technology Associations)  
Add: 152 Le Duan, Dong Da, Hanoi  
Tel: 024.22141917.  
Email: tapchidkt@yahoo.com.vn;  
viendkt@vusta.vn  
Website: www.vgi-vn.vn  
Copyright deposit: July 2023

**VIETNAM GEOTECHNIAL JOURNAL**

ISSN - 0868 - 279X  
VOLUME 27  
NUMBER 2 - 2023

**CONTENTS**

<b>BUI TRUONG SON, LAM NGOC QUI:</b> Relationship of undrained shear strength vs stress state and density of saturated soft clay	3
<b>NGUYEN TIEN DUNG:</b> Estimating the negative skin friction of piles by Meyerhof method	9
<b>NGUYEN DINH HOP:</b> On the effectiveness of the static piles loading test	16
<b>BUI TRUONG SON, NGUYEN THI NU, NGUYEN THANH DUONG, DO MINH NGOC, NGUYEN DUC LY:</b> Landslide characteristics in Quang Binh province	22
<b>NGUYEN VAN PHONG, LE VAN QUYEN, PHAM MINH TUAN:</b> Influence of pile driving hammer on the effectiveness of monopile installation as wind turbine foundation at nearshore coastal region of Soc Trang, Vietnam	30
<b>DO NGOC THAI, NGUYEN THE MOC CHAN:</b> Study on the interaction behaviour of twin parallel tunnels and piled structure in urban areas	40
<b>PHAM THANH TUNG, NGUYEN CHAU LAN, BUI XUAN CAY, BUI THANH QUANG, PHAM TUAN DUNG:</b> Evaluating the resilient modulus of soils by cyclic triaxial test an some field tests LWD and DCP	52
<b>NGUYEN THANH AN:</b> Establishing an empirical correlation equation between the angle of internal friction and the standard penetration resistance of clay and sandy clay of Thai Binh formation in Thanh Xuan district, Ha Noi city	58
<b>LE BA VINH, PHAM XUAN TRUNG, TO LE HUONG:</b> Analysis and determination of load bearing capacity of pressed pile by theory and pile load test in Can Tho area	63

# PHÂN TÍCH CHỌN BÚA ĐÓNG CỌC MONOPILE CHO TRỤ TUA-BIN ĐIỆN GIÓ TẠI KHU VỰC GẦN BỜ BIỂN SÓC TRĂNG, VIỆT NAM

NGUYỄN VĂN PHÓNG\*, LÊ VĂN QUYỀN\*\*,  
PHẠM MINH TUẤN\*

***Influence of pile driving hammer on the effectiveness of monopile installation as wind turbine foundation at nearshore coastal region of Soc Trang, Vietnam***

**Abstract:** Nowadays, wind energy has become one of the most common renewable sources for many countries. Recently, Vietnam has made significant progress on expanding capacity to generate renewable energy such as solar engery, wind energy. In Vietnam, many wind farms are planned to built or have been built, especially along the coastline. For each wind farm project, the foundation plays an important role in the long term stability of wind turbine. Besides, the construction of foundation for turbine is also cost time and money, especially for offshore. For offshore wind farms, the installation for foundation of wind turbine structures often faces many difficulties which caused by sea wave, storm, high depth of sea water, ice floating and complexed geotechnical conditions. For construction of offshore wind turbine, the pile foundation is the most common solutions, particularly at near shore. Thus, under these difficult conditions, the installation of piles to target design depth and to ensure suitable pile capacity are really important technical challenges. The effectiveness of pile driving depends on driving methods, hammer types and soil conditions, etc. In reality, the installation process of pile foundation is usually performed by using various hammer types such as hydraulic or diesel hammers. Therefore, the selection of a suitable hammer is very important and will ensure piles be driven to target depth safely and efficiently. This paper presents the methodology of using the software GRLWEAP (Wave Equation Analysis of Pile Driving), the appropriate selection of hammers and recommendations related to the driving process for steel pipe piles at the coastal region of Soc Trang province, Vietnam.

## 1. GIỚI THIỆU

Với sự phát triển vượt bậc của xu hướng sử dụng năng lượng tái tạo trên thế giới và Việt Nam, ngày càng có nhiều công trình liên quan đến sản xuất năng lượng tái tạo được xây dựng. Việt Nam là quốc gia có tiềm năng lớn về điện gió do có đường bờ biển dài và nguồn năng

lượng gió dồi dào, đặc biệt là ngoài khơi. Tua-bin gió ngoài khơi đã được phát triển ở một số quốc gia và có thể cung cấp nhiều điện hơn so với tua-bin gió trên bờ. Tuy nhiên, khác với tuabin trên bờ, việc xây dựng tuabin ngoài khơi thường gặp nhiều thách thức như sóng biển, bão, độ sâu của nước biển cao, băng trôi, ... Tùy theo độ sâu của nước biển, các giải pháp móng khác nhau có thể sử dụng như kết cấu trọng lực, momopile (móng cọc), tháp ba chân, gầu hút, phao nổi, ... (Kurian et al., 2010). Việc xây

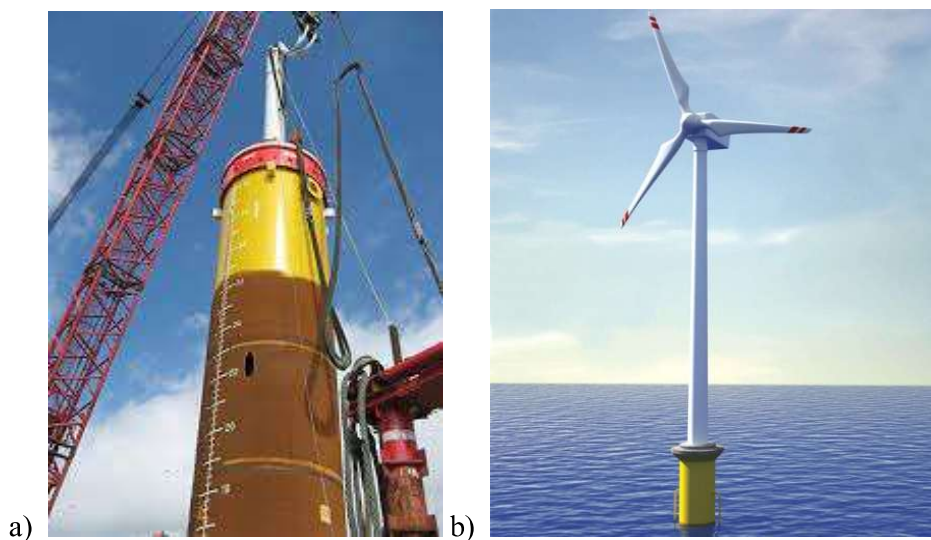
\* Đại học Mở - Địa chất Hà Nội

\*\* Công ty TNHH MTV Dịch vụ Khảo sát & Công trình ngầm PTSC

dựng, lắp đặt các trụ tua-bin điện gió cần đảm bảo sự ổn định của hệ thống công trình - móng trong suốt tuổi thọ thiết kế của công trình. Để đạt được điều đó, nền móng phải có khả năng chịu được trọng lượng bản thân của kết cấu tuabin gió và các tác động của môi trường. Do đó, việc đảm bảo độ sâu hạ cọc có ý nghĩa quyết định đến khả năng ổn định và phát huy được khả năng chịu tải của lớp chịu lực.

Trụ tua-bin điện gió sẽ được cố định trên đáy biển bằng hệ thống khung giá - cọc. Hiện nay, giải pháp móng cọc monopile thường được sử dụng cho trụ điện gió gần bờ (hình 1). Công tác thi công đóng cọc cần đảm bảo đến độ sâu mà cọc có thể chịu tải theo yêu cầu thiết kế. Cọc thường được hạ đến độ sâu thiết kế bằng các loại búa như búa thủy lực, búa diesel,... Việc lựa chọn loại búa phù hợp sẽ đảm bảo cọc có thể

được hạ đến độ sâu thiết kế một cách an toàn và hiệu quả. Ngoài ra, việc lựa chọn loại búa phù hợp sẽ đảm bảo tính kinh tế của công tác đóng cọc, do nhà thầu thi công không cần phải mang nhiều loại búa khác nhau ra vị trí thi công để thực hiện công việc. Vì vậy, đã có nhiều tác giả quan tâm nghiên cứu về vấn đề này. Bender, C (1969) đã nghiên cứu ứng dụng phân tích hàm sóng cho móng cọc ngoài khơi. Nhóm tác giả Y. K. Chow (1988) đã nghiên cứu dự báo khả năng chịu tải của cọc đóng dựa vào năng lượng đóng cọc. Năm 2008, J. Choobbasti đã sử dụng phương pháp nhiễu loạn đồng hình và phương pháp lặp biến thiên để giải phương trình sóng trong móng cọc. Salgado, R., Zhang, Y., Abou-Jaoude, G., (2017) đã phân tích các công thức đóng cọc và đưa ra mô hình nâng cao để phát triển các công thức đóng cọc chính xác.



*Hình 1: Móng cọc monopile: a) Thi công đóng cọc;  
b) Trụ tua-bin điện gió sau khi được lắp đặt trên móng cọc monopile*

Trong những năm gần đây, GRLWEAP là phần mềm thường được sử dụng để phân tích phương trình sóng và mô phỏng phản ứng của cọc đối với thiết bị đóng cọc. Phần mềm này dự đoán ứng suất gây ra trong cọc, hiệu suất của búa và mối quan hệ giữa khả năng chịu lực và thiết lập thực trên mỗi nhát búa. Do vậy, phần

mềm được ứng dụng hiệu quả trong chọn búa đóng cọc. Nội dung bài này giới thiệu phương pháp, nguyên lý phân tích đóng cọc, phần mềm GRLWEAP và ứng dụng chọn búa đóng cọc thích hợp cho đóng cọc monopile ống thép khi thi công trụ tua-bin điện gió tại khu vực gần bờ biển Sóc Trăng, Việt Nam.

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Sức chịu tải cực hạn của cọc ống thép theo tiêu chuẩn API RP 2A-WSD

Theo tiêu chuẩn API RP 2A-WSD (Tiêu chuẩn của Mỹ về thiết kế thi công giàn cố định ngoài khơi), sức chịu tải cực hạn của cọc ống thép ( $Q_d$ , bao gồm cả cọc có đáy mở rộng) được xác định như sau:

$$Q_d = Q_f + Q_p \leq A_s f + A_p q \quad (1)$$

trong đó:

$Q_f$  – ma sát thành cọc (kN);

$Q_p$  – sức kháng mũi cọc (kN);

$f$  – ma sát thành cọc đơn vị (kPa);

$A_s$  – diện tích bề mặt cọc ( $m^2$ );

$q$  – sức kháng mũi cọc đơn vị (kPa);

$A_p$  – diện tích mũi cọc ( $m^2$ ).

Ma sát thành cọc và sức kháng mũi cọc được xác định theo loại đất:

#### a) Trong đất dính

Ma sát thành cọc đơn vị tại một điểm bất kỳ được tính như sau:

$$f = \alpha c \quad (2)$$

trong đó:

$\alpha$  – hệ số không thứ nguyên ( $\alpha \leq 1$ );

$$\alpha = 0.5\psi^{-0.5} \text{ khi } \psi \leq 1.0$$

$$\alpha = 0.5\psi^{-0.25} \text{ khi } \psi > 1.0$$

$$\psi = c/p'_o$$

$p'_o$  = ứng suất hữu hiệu của đất (kPa);

$c$  – sức kháng cắt không thoát nước của đất.

Với đất sét chưa cố kết,  $\alpha$  có thể lấy bằng 1.0.

Sức kháng mũi cọc đơn vị,  $q$  (kPa) được tính như sau:

$$q = 0.5 \quad (3)$$

#### b) Trong đất hạt rời

Ma sát thành cọc đơn vị tại một điểm bất kỳ được tính như sau:

$$f = K \sigma'_v \tan \delta \quad (4)$$

trong đó:

$K$  – hệ số áp lực ngang của đất;

$\delta$  – góc ma sát giữa cọc và đất.

Với cọc ống thép thì  $K$  bằng 0.8 và  $K$  bằng 1.0 với cọc được bịt kín mũi (close end). Bảng 1 có thể dùng để tra cứu giá trị  $\delta$  và giá trị giới hạn của ma sát thành cọc.

Sức kháng mũi cọc đơn vị được tính như sau:

$$q = p_{cr} N_q \quad (5)$$

trong đó:

$N_q$  – Hệ số sức chịu tải không thứ nguyên.

**Bảng 1: Tham số thiết kế cho đất hạt rời**

Trạng thái	Mô tả	Góc ma sát cọc-đất, $\delta$ (độ)	$N_q$	Giá trị giới hạn	
				Ma sát thành cọc đơn vị kPa	Sức kháng mũi cọc đơn vị MPa
Rất rời rạc	Cát	15	8	47,8	1,9
Rời rạc	Cát - bụi				
Chặt vừa	Bụi				
Rời rạc	Cát	20	12	67	2,9
Chặt vừa	Cát - bụi				
Chặt	Bụi				
Chặt vừa	Cát	25	20	81,3	4,8
Chặt	Cát - bụi				
Chặt	Cát	30	40	95,7	9,6
Rất chặt	Cát - bụi				
Chặt	Cát	35	50	114,8	12,0
Rất chặt	Sỏi				

## 2.2. Phần mềm GRLWEAP

### 2.2.1. Giới thiệu

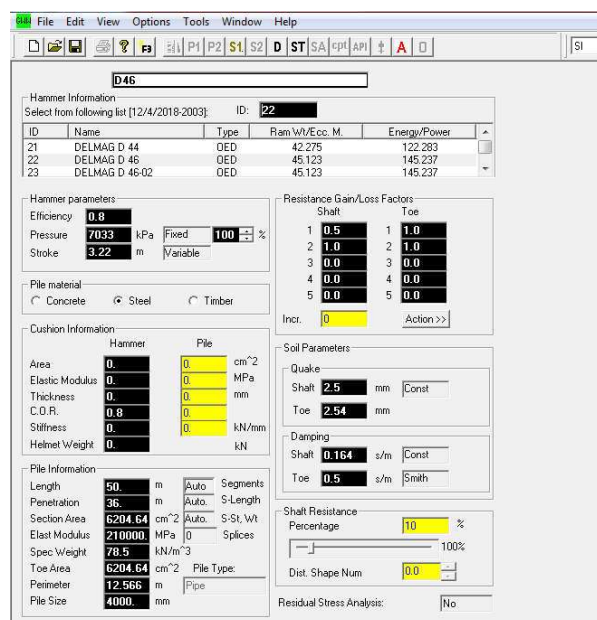
GRLWEAP (Wave Equation Analysis of Pile Driving) là phần mềm mô phỏng sự dịch chuyển và lực tác dụng lên cọc trong quá trình thi công đóng cọc. Phần mềm đưa ra các kết quả như sau:

- Số nhát búa tương ứng với sức kháng của đất trong quá trình đóng cọc;
- Ứng suất dọc trục của cọc;
- Năng lượng búa truyền lên cọc;
- Vận tốc dịch chuyển và chuyển vị của cọc;

Dựa trên các kết quả trên, có thể xác định các thông tin sau:

- Sức chịu tải của cọc tại thời điểm đóng cọc dựa trên số nhát búa ghi nhận được;
- Ứng suất trong cọc dựa trên số nhát búa ghi nhận được;
- Số nhát búa dự đoán dựa trên giá trị sức chịu tải cực hạn của cọc.

Do đó, bằng cách thay đổi loại búa và đặc tính của cọc trong các mô phỏng tính toán, có thể lựa chọn được một hệ thống thi công cọc tối ưu nhất. Hình 2 thể hiện giao diện người dùng của phần mềm GRLWEAP.



Hình 2: Giao diện người dùng của phần mềm GRLWEAP

### 2.2.2. Nguyên lý phân tích đóng cọc

Quá trình đóng cọc cung cấp thông tin liên quan đến sức kháng của đất theo nguyên lý sau: độ dịch chuyển của cọc ( $s$ ) dưới tác động của một nhát búa với năng lượng đóng ( $E_k$ ) càng nhỏ thì sức kháng của đất ( $R_u$ ) càng lớn.

Năng lượng tác động hệ thống cọc-đất ( $E_s$ ) tương quan với độ dịch chuyển của cọc theo công thức sau:

$$E_s = \frac{1}{2} E_{ds} + E_{pl} + E_{sl} \quad (6)$$

trong đó:

$s$  – độ dịch chuyển của cọc sau mỗi nhát búa;  
 $E_{ds}$ ,  $E_{pl}$  và  $E_{sl}$  – lần lượt là năng lượng mất đi trong hệ thống đóng cọc, trong bản thân cọc và trong đất;

$E_k = e_h E_r$  với  $E_r$  là năng lượng khả dụng của búa;

$e_h$  – là hiệu suất của búa ( $0 < e_h < 1$ );

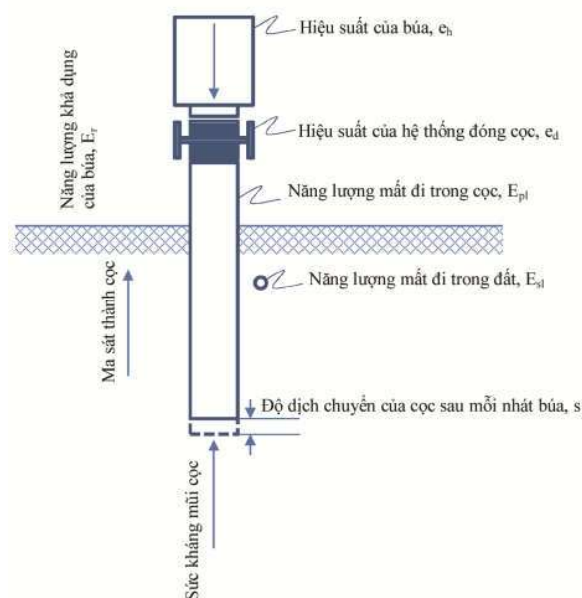
$e_d$  – hệ số tổn thất năng lượng trong hệ thống đóng cọc (phụ thuộc vào loại búa, cách thức vận hành búa ngoài hiện trường và độ xiên của cọc)

Việc tính toán các giá trị  $e_d$ ,  $E_{pl}$  và  $E_{sl}$  được thực hiện bằng cách giải phương trình sóng (wave equation) theo mô hình của Smith có sẵn trong phần mềm GRLWEAP. Các thuật ngữ liên quan đến nguyên lý phân tích đóng cọc được thể hiện ở Hình 3.

Các bước thực hiện phân tích đóng cọc như sau:

1. Tính toán sức chịu tải cực hạn của cọc;
2. Nhập hệ số set-up cho mỗi lớp đất;
3. Nhập loại búa, hệ thống đóng cọc và thông tin cọc;
4. Nhập sức chịu tải đơn vị của cọc;
5. Nhập giá trị hệ số G/L (gain/loss), thường lấy bằng giá trị nghịch đảo của hệ số set-up lớn nhất đối với phần ma sát thành và lấy giá trị bằng 1 đối với phần mũi cọc;
6. Tiến hành phân tích cho trường hợp đóng búa liên tục (continuous driving) và trường hợp có sự gián đoạn trong công tác

đóng cọc (ví dụ như hỏng hóc thiết bị, thời gian hàn nối cọc kéo dài...)



Hình 3: Thuật ngữ và mô hình cân bằng năng lượng trong hệ thống cọc-đất

### 2.2.3. Minh giải kết quả phân tích đóng cọc

Từ kết quả phân tích đóng cọc, tiến hành đánh giá phân tích như sau:

- Kiểm tra xem ứng suất của cọc trong quá trình đóng cọc có vượt ngưỡng cho phép (thường lấy nhỏ hơn  $0.9F_y = 0.9 \cdot 310 \text{ MPa} = 279 \text{ MPa}$ , với  $F_y$  là khả năng chịu lực cực hạn của thép;

- Nếu số phát búa tương ứng tại một giá trị sức kháng của đất vượt ngưỡng cho phép (100 nhát/0.3m cho cọc ma sát hoặc 240 nhát/0.3m cho cọc chống) thì tiến hành phân tích lại bằng búa có năng lượng lớn hơn;

- Nếu số phát búa dự đoán tại một giá trị sức kháng cắt của đất là thấp (24 nhát/0.3m) thì cần phân tích lại với hiệu suất của búa thấp hơn hoặc dùng một búa khác ít năng lượng hơn;

- Nếu số phát búa nằm trong phạm vi cho phép nhưng ứng suất trong cọc lớn thì phân tích lại với một búa khác có năng lượng ít hơn hoặc có thể dùng búa có năng lượng lớn hơn nhưng tăng độ dày của tấm đệm đầu cọc;

- Nếu số nhát búa và ứng suất trong cọc đều vượt quá ngưỡng cho phép thì ta có thể tăng kích thước cọc hoặc dùng vật liệu làm cọc có cường độ tốt hơn và tiến hành phân tích lại.

## 2.3. Phân tích chọn búa đóng cọc monopile tại khu vực gần bờ biển Sóc Trăng, Việt Nam

### 2.3.1. Thông tin dự án

Nhà máy điện gió Sóc Trăng (giai đoạn 1) được thiết kế với công suất phát điện là 98MW với 33 trụ. Ở giai đoạn nghiên cứu sơ bộ để đánh giá tính khả thi của dự án, có 01 hố khoan được thực hiện đến độ sâu 80m và 01 hố xuyên CPT nằm cách vị trí hố khoan khoảng 5m để đánh giá điều kiện địa chất công trình khu vực xây dựng nhà máy. Loại tua-bin điện gió dự kiến lắp đặt là loại Siemens SWT-3.6-107. Khu vực xây dựng nhà máy nằm ven bờ biển khu vực khảo sát. Các trụ tua-bin điện gió được bố trí xây dựng theo dãy với khoảng cách ngang giữa hai trụ tua-bin điện gió là 4D (D là đường kính rotor) và khoảng cách giữa hai trụ-tubín điện gió nằm trước và nằm sau là 6D. Giải pháp móng dự kiến là móng cọc monopile thuộc loại cọc ống thép.

### 2.3.2 Đặc điểm địa tầng vị trí nghiên cứu

Dựa trên kết quả khảo sát địa chất công trình Nhà máy điện gió Sóc Trăng (giai đoạn 1) do Công ty PTSC thực hiện, đặc điểm địa tầng vị trí nghiên cứu bao gồm 8 lớp đất với đặc điểm phân bố và một số tính chất cơ lý được trình bày chi tiết trong bảng 2.

**Bảng 2: Đặc điểm địa tầng vị trí nghiên cứu và tham số thiết kế**

Lớp	Độ sâu bên dưới đáy biển (m)		Bề dày (m)	Dung trọng bão hòa ( $\text{kN/m}^3$ )	Sức kháng cắt không thoát nước (kPa) / Góc ma sát trong (độ)	Mô tả
	Từ	Đến				
1.	0,0	14,9	14,9	15,7	19	Sét béo (CH)
2.	14,9	21,5	6,6	18,7	103	Sét béo (CH)
3.	21,5	30,0	8,5	18,5	107	Sét gầy (CL)
4.	30,0	34,7	4,7	19,2	30°	Cát (ML)
5.	34,7	41,0	6,3	18,8	127	Sét béo (CH)
6.	41,0	54,0	13,0	18,9	107	Sét gầy (CL)
7.	54,0	56,5	2,5	19,4	25°	Cát (ML)
8.	56,5	Đến 80m	-	19,3	196	Sét gầy (CL)

### 2.3.3 Kích thước cọc và loại búa sử dụng đóng cọc

Cọc ống thép có các thông số như sau:

- Đường kính ngoài, OD = 4 m;
- Bề dày thành cọc, WT = 50 mm;
- Chiều dài cọc, L = 50 m;
- Chiều dài cọc nằm dưới đáy biển (độ sâu cắm cọc tính từ đáy biển),  $L_{\text{embedded}} = 36$  m;
- Khối lượng riêng của thép làm cọc,  $\rho_{\text{cọc}} = 78.5 \text{ kN/m}^3$ .

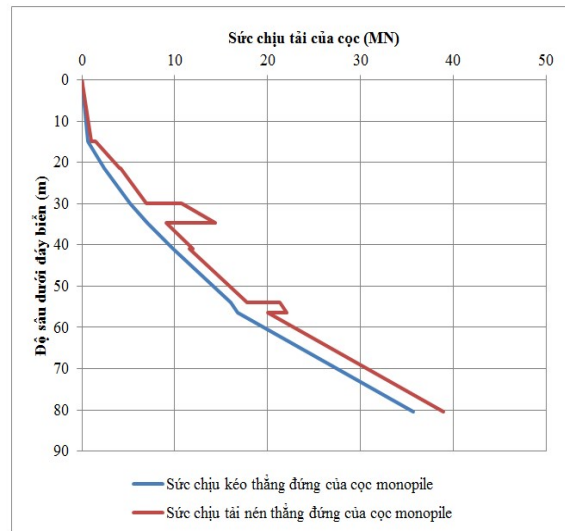
Để phân tích khả năng thi công cọc đến độ sâu thiết kế (100m dưới mực nước biển), 05 loại búa được lựa chọn:

- MENCK MHF3-5 (năng lượng búa = 52.483 kJ);
- DELMAG D-46 (năng lượng búa = 145.237 kJ);
- MENCK MHF10-15 (năng lượng búa = 169.185 kJ);
- MENCK MHU 200T (năng lượng búa = 230.158 kJ);
- MENCK MHU 1500S (năng lượng búa = 660.322 kJ).

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Với các thông số về nền đất và cọc, áp dụng biểu thức số (1) xác định được sức chịu tải cực hạn của cọc theo API RP 2A-WSD. Hình 4 biểu

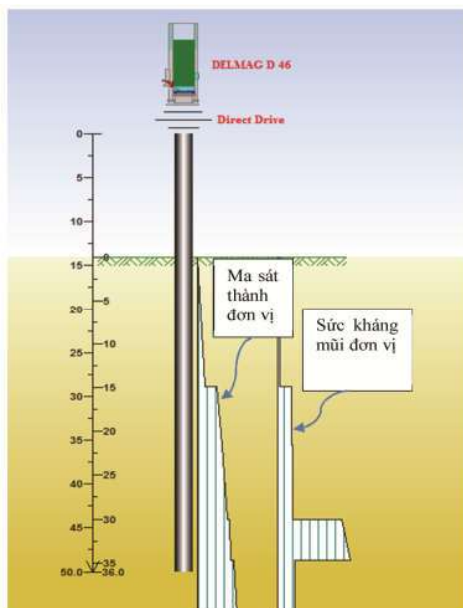
diễn sức chịu tải của cọc ống thép monopile theo độ sâu.



*Hình 4: Sức chịu tải cực hạn của cọc*

Theo biểu đồ hình 4, tại độ sâu 36m dưới đáy biển, sức chịu tải nén thẳng đứng của cọc đạt 9.7MN (khoảng 970 tấn).

Sử dụng phần mềm GRLWEAP mô phỏng và phân tích quá trình đóng cọc theo độ sâu. Kết quả được thể hiện bằng đồ họa biểu diễn ma sát thành đơn vị và sức kháng đầu mũi cọc đơn vị theo độ sâu đóng cọc (Hình 5).



Hình 5: Sơ đồ tổng quát phân tích đóng cọc bằng phần mềm GRLWEAP

Kết quả phân tích đóng cọc tương ứng các loại búa khác nhau với trường hợp G/L của ma sát thành cọc là 0.4 và G/L của sức kháng mũi cọc là 1 (trường hợp đóng cọc liên tục, trường hợp 1) được trình bày chi tiết trong bảng 3.

**Bảng 3: Bảng thống kê số nhát búa và ứng suất nén ép trong cọc trường hợp đóng cọc liên tục**

Độ sâu dưới đáy biển	MHF3-5		D46		MHF10-15		MHU 200T		MHU 600T	
	Số nhát búa / 0,3m	Ứng suất nén ép trong cọc (MPa)	Số nhát búa / 0,3m	Ứng suất nén ép trong cọc (MPa)	Số nhát búa / 0,3m	Ứng suất nén ép trong cọc (MPa)	Số nhát búa / 0,3m	Ứng suất nén ép trong cọc (MPa)	Số nhát búa / 0,3m	Ứng suất nén ép trong cọc (MPa)
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19.9	72,6	36.987	31,7	58,502	18,2	71.045	15,3	109.156	6,2	147.648
20.5	85	36.962	35,3	58,508	19,7	71.042	16,3	109.155	6,2	147.58
22.5	144,2	36.899	59,3	58,565	28,6	71.012	23,1	109.156	7,1	147.331
24.5	224,5	36.833	75,5	58,621	35,4	70.946	27,4	109.156	8,1	147.035
26.5	412,6*	36.773	97	58,662	45,9	70.915	36,3	109.175	9,2	146.691

Độ sâu dưới đáy biển	MHF3-5		D46		MHF10-15		MHU 200T		MHU 600T	
	Số nhát búa / 0,3m	Ứng suất nén ép trong cọc (MPa)	Số nhát búa / 0,3m	Ứng suất nén ép trong cọc (MPa)	Số nhát búa / 0,3m	Ứng suất nén ép trong cọc (MPa)	Số nhát búa / 0,3m	Ứng suất nén ép trong cọc (MPa)	Số nhát búa / 0,3m	Ứng suất nén ép trong cọc (MPa)
28.5	540,1	36.691	129,4	58,503	53	70.915	40,7	109,17	11,4	146.471
29	579,7	36.674	139,9	58,556	55,1	70.915	41,9	109,16	11,7	146.425
31	2999,7	36.611	295,1*	58,5	88,3	70.915	59,4	109.106	16,1	146.163
33	2999,7	36.528	354,3	58,559	103	70.915	68,2	109.017	17,7	145.813
33.7	2999,7	36.504	378,9	58,531	105,7	70.915	71,9	108.975	18,3	145.663
35.3	2999,7	36.425	311,6	58,509	96,8	70.915	62,8	108.862	15,7	145.136
36	2999,7	36.395	325,1	58,485	98,8	70.915	65,8	108.826	16,2	145.134

Ghi chú: \* - Giá trị số nhát búa vượt tiêu chuẩn giới hạn 240 nhát / 0,3m tại độ sâu đang xét.

Kết quả phân tích đóng cọc tương ứng các là 1 (trường hợp có sự gián đoạn trong quá trình loại búa khác nhau với trường hợp G/L của ma đóng cọc, trường hợp 2) được trình bày chi tiết sắt thành cọc là 1 và G/L của sức kháng mũi cọc trong bảng 4.

**Bảng 4: Bảng thông kê số nhát búa và ứng suất nén ép trong cọc trường hợp có sự gián đoạn trong quá trình đóng cọc**

Độ sâu dưới đáy biển	MHF3-5		D46		MHF10-15		MHU 200T		MHU 600T	
	Số nhát búa / 0,3m	Ứng suất nén ép trong cọc (MPa)	Số nhát búa / 0,3m	Ứng suất nén ép trong cọc (MPa)	Số nhát búa / 0,3m	Ứng suất nén ép trong cọc (MPa)	Số nhát búa / 0,3m	Ứng suất nén ép trong cọc (MPa)	Số nhát búa / 0,3m	Ứng suất nén ép trong cọc (MPa)
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15.9	56,8	37.101	24,5	58.712	15,1	71.085	14,5	109.156	6,2	148.037
17.9	155,4	37.036	62,4	58.653	29,9	71,05	24	109.156	7,3	147.854
19.9	358,5*	36.977	93,4	58.646	45,3	71.067	32	109.156	10,3	147.586
20.5	468,8	36.948	106,2	58.645	48,5	71,06	38	109.156	10,9	147.503

Độ sâu dưới đáy biển	MHF3-5		D46		MHF10-15		MHU 200T		MHU 600T	
	Số nhát búa / 0,3m	Ứng suất nén ép trong cọc (MPa)	Số nhát búa / 0,3m	Ứng suất nén ép trong cọc (MPa)	Số nhát búa / 0,3m	Ứng suất nén ép trong cọc (MPa)	Số nhát búa / 0,3m	Ứng suất nén ép trong cọc (MPa)	Số nhát búa / 0,3m	Ứng suất nén ép trong cọc (MPa)
22.5	772,5	36.896	175,2	58.574	61,7	71.015	45,8	109.156	13	147.16
24.5	1480,3	36.831	257,6*	58.609	79,2	70.937	55,2	109.156	15,4	146.76
26.5	2999,7	36.751	314,6	58.539	100,5	70.915	67	109.186	18,1	146.306
28.5	2999,7	36.67	386	58.504	110,4	70.915	82,6	109.177	21,2	145.791
29	2999,7	36.645	406,9	58.486	113	70.915	84,1	109.165	21,8	145.694
31	2999,7	36.567	727,4	58.665	139,5	70.915	98	109.097	27,2	145.268
33	2999,7	36.476	917,8	58.73	148,4	70.915	101,8	108.977	28,5	144.771
33.7	2999,7	36.441	1018,7	58.758	152	70.915	103,5	108.922	29	144.578
35.3	2999,7	36.365	778,4	58.764	141,1	70.915	98,4	108.843	26,5	144.104
36	2999,7	36.365	902,4	58.842	148	70.915	102,1	108.804	27,7	143.909

Ghi chú: \* - Giá trị số nhát búa vượt tiêu chuẩn giới hạn 240 nhát / 0.3m tại độ sâu đang xét.

Bảng 5 tổng hợp kết quả phân tích lựa chọn búa cho công tác thi công đóng cọc monopile. Theo đó, các loại búa MENCK MHF3-5, DELMAG D-46 có số nhát búa / 0,3m vượt tiêu chuẩn ở cả hai trường hợp 1 và 2 nên đánh giá không đạt. Các búa MENCK MHF10-15, MENCK MHU 200T và MENCK MHU 600T đều có số nhát búa/ 0,3m nhỏ hơn 240. Tuy nhiên, lực ép tối đa sinh ra trong quá trình đóng cọc với búa MENCK MHU 600T là khá cao nên khó kiểm soát ngoài hiện trường. Do vậy, hai loại búa MENCK MHF10-15 và MENCK MHU 200T được đánh giá là thích hợp, có thể lựa chọn để đóng cọc.

**Bảng 5: Tổng hợp lựa chọn búa cho công tác thi công đóng cọc monopile**

Stt	Loại búa	Số nhát búa / 0,3m tại độ sâu thiết kế		Ứng suất nén ép cực đại trong cọc khi thi công đóng cọc (Mpa)	Đánh giá
		Trường hợp 1	Trường hợp 2		
1	MENCK MHF3-5	2999,7 > 240	2999,7 > 240	37.101 < 279	Không đạt
2	DELMAG D-46	378,9 > 240	1018,7 > 240	58.842 < 279	Không đạt
3	MENCK MHF10-15	105,7 < 240	152 < 240	71.085 < 279	Đạt
4	MENCK MHU 200T	71,9 < 240	103,5 < 240	109.186 < 279	Đạt
5	MENCK MHU 600T	18,3 < 240	29 < 240	148.037 < 279	Không đạt do khó có thể kiểm soát chất lượng khi thi công ngoài hiện trường

#### 4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Trong bài này, các loại búa đóng cọc được phân tích và đánh giá dựa trên phần mềm GRLWEAP. Dựa trên các kết quả phân tích, có thể đưa ra một số kết luận chính như sau:

Giá trị ứng suất nén ép trong cọc trong quá trình đóng cọc đều nằm trong giới hạn cho phép (nhỏ hơn 279Mpa) trong cả trường hợp 1 và 2.

Ba loại búa MENCK MHF10-15, MENCK MHU 200T và MENCK MHU 600T đều có thể dùng để đóng cọc đến độ sâu thiết kế là 36m. Tuy nhiên, do năng lượng của búa MHU 600T là khá lớn và số nhát búa trên 0.3 m đóng là tương đối thấp nên sẽ gây khó khăn cho công tác kiểm soát chất lượng tại hiện trường. Như vậy, khi thi công với loại cọc này chỉ nên chọn một trong hai loại búa MHF10-15 và MHU 200T.

Bài báo đã trình bày quy trình và kết quả phân tích lựa chọn búa đóng cọc monopile ống thép, đảm bảo hiệu quả của công tác đóng cọc ngoài khơi. Tuy nhiên, kết quả phân tích có thể sai khác với thực địa do ảnh hưởng của các yếu tố như sai số về nền đất, điều kiện thực tế khác so với giả thiết khi phân tích.

Bên cạnh đó, để đảm bảo bao quát được các khả năng bất lợi thực tế có thể xảy, cần chọn các thông số đầu vào hợp lý và lưu ý:

- Nên phân tích ở hiệu suất búa thấp hơn khuyến nghị khi xác định sức chịu tải của cọc từ số nhát búa;
- Ngược lại, nên phân tích ở hiệu suất búa cao hơn khuyến nghị khi xác định ứng suất cọc trong quá trình đóng cọc.
- Khi xác định số nhát búa, cần dùng giá trị sức kháng cắt của đất ở ngưỡng cao và phân tích ở hiệu suất búa thấp hơn khuyến nghị.

#### Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Bộ Giáo dục và Đào tạo đã hỗ trợ kinh phí cho nghiên cứu này. Các tác giả cũng xin cảm ơn sự giúp đỡ của các cán bộ tại Công ty TNHH MTV Dịch vụ Khảo sát & Công trình ngầm PTSC.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Q. D. Nguyen, D. L. Nguyen, and V. T. Ngo, "Application of smart algorithm to monitor and control the source of base transceiver station," (in Vietnamese), *TNU Journal of Science and Technology*; Vol. 204, No. 11: Natural Sciences - Engineering - Technology, pp. 23-30, 2019.
- [2] API RP 2A-WSD, "Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platform", *Working Stress Design*, 2000.
- [3] GRLWEAP 2010 Background Report.
- [4] PTSC G&S, "Geotechnical survey report. No. PGS/2018/GT/006.", *Geotechnical survey report*, 2018.
- [5] Bender, C. H., Jr., Lyons, C. G., and Lowery, L. L., "Applications of Wave-Equation Analysis to Offshore Pile Foundations." *Preprints, offshore Technology Conference*, Vol I, Paper No. OTC 1055, 1969, pp 575-586, 1969.
- [6] Choobbasti, J., Zad, F., Davood, D. G., "Application of Wave Equation in Pile Foundation Using Homotopy Perturbation Method and Variational Iteration Method", *DOI:10.3923/jas.2008.2158.2162*, 2008.
- [7] Chow, Y. K., Karunaratne, G. P., Wong, K. Y., and Lee, S. L., "Prediction of load-carrying capacity of driven piles." *Canadian Geotechnical Journal*. February 1988. doi.org/10.1139/t88-002, 1988.
- [8] Kurian, V. J., Narayanan, S. P., Ganapathy, C., "Towers for offshore wind turbines.", *The 10<sup>th</sup> Asian International Conference on Fluid Machinery*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2010.
- [9] Salgado, R., Zhang, Y., Abou-Jaoude, G., et al, "Pile driving formulas based on pile wave equation analyses.", *Computers and Geotechnics*, Vol. 81, January 2017, Pages 307-321, doi.org/10.1016/j.compgeo.2016.09.004, 2017.

---

Người phân biên: PGS,TS NGUYỄN BẢO HUÂN