



SỰ PHỤ THUỘC CÔNG SUẤT DẪN ĐỘNG CỦA MÔ TƠ QUAY VÀO TỐC ĐỘ HẠ CỌC ỐNG THÉP TRÊN NỀN SAN HỒ

Trần Hữu Lý^{1*}, Phan Thanh Cầu¹, Nguyễn Văn Hiến¹

Tóm tắt: Dựa trên một số giả thiết về nền san hô và kết quả đo được khi thực nghiệm quay hạ cọc trên đảo, bài báo trình bày phương pháp tính toán xác định ảnh hưởng của tốc độ dẫn tiến đến mô men cản quay trong quá trình quay hạ cọc ống thép trên nền san hô với nhiều lớp địa chất. Từ đó khảo sát sự thay đổi công suất của mô tơ quay cọc theo vận tốc dẫn tiến cọc. Kết quả nghiên cứu là cơ sở để tính toán, thiết kế lựa chọn mô tơ quay cọc cho máy khoan hạ cọc ở điều kiện biển đảo Việt Nam.

Từ khóa: Quay hạ cọc; nền san hô; mô tơ thủy lực; công suất dẫn động.

Dependence of driven power of rotational motor on the installing speed of tubular steel piles into coral foundation

Abstract: Based on some assumptions about coral foundation and measured results in experiments of pressing piles on the islands, this paper presents a calculated method to determine effect of installing speed to resistance torque acting on the piles in the pressing process into coral ground with different layers. As a result, this work investigates the variations of the power of driven motor upon piling speed. The results are based to calculate and select a new motor for the design of press-in machinery for work conditions in Vietnam's islands.

Keywords: Rotational pressing; coral foundation; hydraulic motor; driven power.

Nhận ngày 10/5/2017, sửa xong 12/6/2017, chấp nhận đăng 23/6/2017
Received: May 10, 2017; revised: June 12, 2017; accepted: June 23, 2017



1. Đặt vấn đề

Tùy thuộc vào điều kiện thiết bị thi công, đối tượng nền và chủng loại cọc, người ta có thể sử dụng lực ép tĩnh, va đập hoặc lực rung để hạ chìm cọc ống thép vào nền [1]. Phương pháp xoay hạ cọc ống thép (rotary press-in) phục vụ gia cố nền móng công trình có nhiều ưu điểm hơn so với các phương pháp ép cọc truyền thống sử dụng hiệu ứng rung và hiệu ứng va đập vì nó không làm ảnh hưởng đến độ bền, khả năng chịu tải của cọc cũng như các đặc tính cơ lý của nền địa chất xung quanh [2,4]. Đối với những khu vực ven biển và hải đảo với đặc điểm địa chất là nền san hô thì yêu cầu này lại càng cần thiết để đảm bảo chất lượng và tuổi thọ công trình. Có thể sử dụng các máy quay hạ cọc chuyên dùng (Hình 1a) hoặc các thiết bị Press-in tích hợp trên máy xúc, cần cẩu để hạ cọc ống thép. Để giảm lực cản dọc trục của cọc khi đưa vào nền san hô từ đó giảm được tổng lực cản khi hạ cọc, đầu các cọc ống thép được bố trí các răng cắt (Hình 1b).

Đã có rất nhiều nghiên cứu liên quan đến công nghệ khoan xoay hạ cọc tuy nhiên những nghiên cứu này mới chỉ dừng lại ở việc tính toán lực cản thuần túy lên cọc mà chưa đầy đủ. Chưa có nghiên cứu nào tính toán công suất cần thiết của mô tơ dẫn động cọc. Nội dung bài báo tiến hành



Hình 1a. Máy quay hạ cọc ống thép tự hành



Hình 1b. Ống thép đầu lắp răng cắt

¹TS, Học viện Kỹ thuật Quân sự.

*Tác giả chính. E-mail: huulytran69@gmail.com

nghiên cứu ảnh hưởng của tốc độ hạ cọc trên nền san hô tới công suất mô tơ thủy lực dẫn động quay từ đó xác định được công suất cần thiết của nó.

2. Tính toán công suất mô tơ quay trong quá trình quay hạ cọc

2.1 Mô hình tương tác giữa cọc ống thép - nền san hô khi quay hạ cọc

Các giả thiết khi xây dựng mô hình:

- Áp lực ngang của nền san hô tác dụng lên thành cọc được tính [Lý thuyết Rankine]:

$$\sigma_h(z) = \gamma(z)z \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) \quad (1)$$

trong đó: $\gamma(z)$ là trọng lượng riêng của san hô, phụ thuộc vào chiều sâu và được xác định bằng thực nghiệm theo [1]; ϕ là góc ma sát trong của san hô.

- Quá trình khoan xuống chỉ có răng cắt đầu cọc thép mới tham gia quá trình cắt đá san hô;

- Quá trình khoan tốc độ quay cần khoan là không đổi;

Với τ_h ứng suất tiếp tác dụng lên thân cọc được tính như sau [3]:

$$\tau_{hz} = \sigma_{hz} \tan \phi = \gamma z \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) \tan \phi \quad (2)$$

- Theo kết quả thực nghiệm xác định ở một số quần đảo [5], phân bố của nền san hô được chia thành 3 loại chính. Loại 1: cát san hô, $\gamma_1 = 15 \text{ KN/m}^3$; Loại thứ 2: san hô cành nhánh $\gamma_2 = 18 \text{ KN/m}^3$; Loại thứ 3: san hô liền khối, $\gamma_3 = 25 \text{ KN/m}^3$. Trong quá trình quay sự tương tác cọc giữa cọc và nền san hô làm xuất hiện mô men cản ma sát do lực ma sát giữa thành cọc và nền san hô. Mô hình tương tác giữa cọc thép và nền san hô được thể hiện trên Hình 2.

2.2 Mô men ma sát cản quay tác dụng lên cọc ống thép

Mô men cản tác dụng lên cọc bao gồm: Mô men cản ma sát do lực tác dụng vuông góc lên thành ngoài của cọc; Mô men cản ma sát do lực tác dụng vuông góc lên thành trong của cọc; Mô men cản cắt trên các răng cắt của thành cọc. Theo [4], để tính toán mô men cản thành cọc ta xét một phần tử trên thành cọc ở độ sâu z có chiều cao dz và chiều rộng $D/2 d\theta$ (đối với thành ngoài) và $d/2 d\theta$ đối với thành trong.

- Mô men cản ma sát tác dụng lên thành ngoài của cọc:

$$M_{mse}^h = \mu \tan \phi K_p \frac{D^2}{4} \cos \delta \int_0^{2\pi} d\theta \left[\gamma_1 \int_0^{H_1} z dz + \gamma_2 \int_{H_1}^{H_2} z dz + \gamma_3 \int_{H_2}^{H_3} z dz \right] \quad (3)$$

trong đó: $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ là trọng lượng riêng của đá san hô ở lớp thứ 1, 2, 3 (kN/m^3); θ là góc ở tâm của phần tử đang xét, ($^\circ$); z là vị trí của phần tử đang xét so với mặt nền, (m); μ là hệ số ma sát giữa thép và san hô, $\mu = 0,155-0,358$ [1]; δ là góc ma sát giữa thép và san hô, $\delta = 20^\circ$; K_p là hệ số áp lực nền bị động, được tính theo công

thức: $K_p = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \frac{1 - \sin 36}{1 + \sin 36} = 0,63$; ϕ là góc nội ma sát của cát san hô; $\phi = 36^\circ$; H_1, H_2, H_3 là lần lượt là

chiều sâu lớp thứ 1, lớp thứ 2 và lớp thứ 3, (m); D là đường kính ngoài của ống cọc thép, (m).

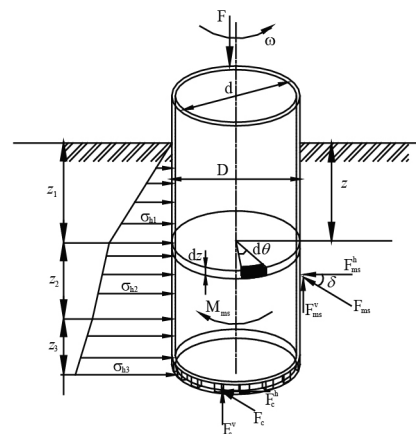
- Mô men cản ma sát tác dụng lên thành trong của cọc:

$$M_{mse}^h = \mu \tan \phi K_p \frac{d^2}{4} \cos \delta \int_0^{2\pi} d\theta \left[\gamma_1 \int_0^{H_1} z dz + \gamma_2 \int_{H_1}^{H_2} z dz + \gamma_3 \int_{H_2}^{H_3} z dz \right] \quad (4)$$

Từ (3), (4) ta được:

$$M_{re} = \pi \mu K_p \tan \phi \cos \delta \frac{D^2}{2} \left(\int_0^{z_1} \gamma_1 z dz + \int_{z_1}^{z_2} \gamma_2 z dz + \int_{z_2}^L \gamma_3 z dz \right) \quad (5)$$

$$M_{ri} = \pi \mu K_p \tan \phi \cos \delta \frac{d^2}{2} \left(\int_0^{z_1} \gamma_1 z dz + \int_{z_1}^{z_2} \gamma_2 z dz + \int_{z_2}^L \gamma_3 z dz \right) \quad (6)$$



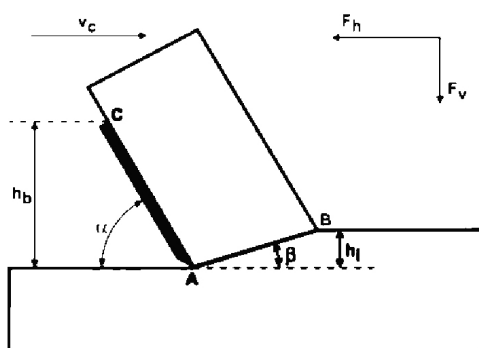
Hình 2. Mô hình tính toán các thành phần lực cản quay tác dụng lên cọc

- Xác định lực cản cắt ở các răng cắt

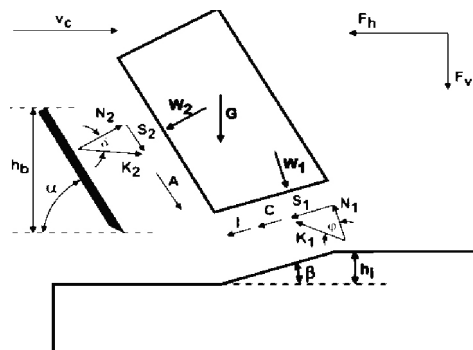
Trong quá trình quay hạ cọc xuống nền san hô, các răng cắt ở đầu ống cọc thực hiện nhiệm vụ cắt phá lớp cát san hô nhằm làm giảm lực cản dọc trục.

Trong quá trình cắt phá răng cắt chịu tác dụng của lực cản cắt F_c , lực cản cắt này được phân thành hai lực thành phần: thành phần lực cản cắt theo phương ngang ký hiệu là F_c^h , lực cản cắt theo phương thẳng đứng F_c^v . Trong quá trình cắt, răng cắt dịch chuyển với vận tốc v_c , nghiêng với phương ngang một góc α , chiều dày lớp cát h_p , chiều cao răng cắt h_b , mặt trượt của nền khi bị cắt hợp với phương ngang một góc β phụ thuộc vào đặc tính của nền san hô.

Sơ đồ tính toán lực cản cắt được thể hiện trên Hình 3 [6]:



Hình 3. Sơ đồ tính toán lực cản cắt



Hình 4. Lực tác dụng lên lớp cát

- Lực tác dụng lên lớp san hô đã bị cắt nằm ngay trước răng cắt gồm: Lực do ảnh hưởng của ứng suất hạt lên bề mặt trượt N_1 ; Lực trượt S_1 do ma sát trong của nền, có giá trị bằng $N_1 \tan \varphi$; Lực W_1 do áp suất của nước lên vùng trượt; Lực trượt C do sự bám dính của vật liệu nền τ_c . Lực này được tính bằng cách nhân độ bền cắt τ_c với diện tích mặt trượt; Trọng lực G của phần trọng lượng lớp nền đã bị cắt; Lực quán tính I do chuyển động của lớp nền đã bị cắt; Lực tác dụng lên răng cắt N_2 do áp lực của các hạt; Lực trượt S_2 do ma sát ngoài, có giá trị bằng $N_2 \tan \delta$; Lực trượt A do lực bám dính giữa nền và răng cắt τ_a . Lực này được tính bằng nhân độ bền bám dính của nền τ_a với diện tích tiếp xúc giữa nền với răng cắt; Lực W_2 do áp lực của nước lên răng cắt.

Lực N_1 và lực trượt S_1 có thể kết hợp thành lực hạt K_1 như sau [6]:

$$K_1 = \sqrt{N_1^2 + S_1^2} \quad (7)$$

- Lực tác dụng lên răng cắt khi cắt nền san hô gồm: Lực tác dụng lên răng cắt N_2 do áp lực hạt; Lực trượt S_2 do ma sát ngoài của nền và được tính bằng $N_2 \tan \delta$; Lực trượt A do sự bám dính giữa nền với răng cắt τ_a . Lực này được tính bằng cách nhân độ bền bám dính của nền τ_a với diện tích tiếp xúc giữa nền với răng cắt; Lực W_2 do áp lực nước tác dụng lên răng cắt.

Kết hợp các lực N_2 và S_2 ta được lực K_2 như sau [6]:

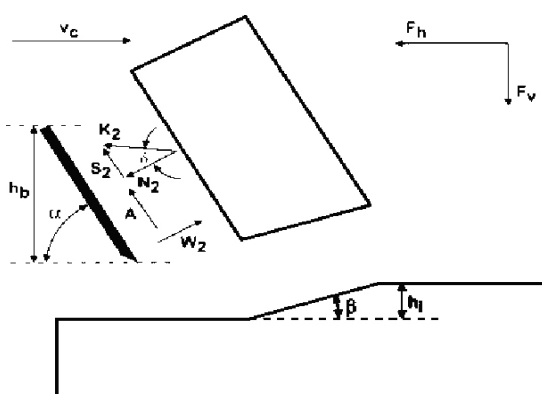
$$K_2 = \sqrt{N_2^2 + S_2^2} \quad (8)$$

trong đó: N_2 là lực trên răng cắt (kN); S_2 là lực ma sát trên răng cắt (kN);

+ Hợp lực theo phương ngang [6]:

$$\sum F_h = K_1 \sin(\beta + \varphi) - W_1 \sin \beta + (C + I) \cos \beta - A \cos \alpha + W_2 \sin \alpha - K_2 \sin(\alpha + \beta) = 0 \quad (9)$$

trong đó: F_h là lực cắt theo phương ngang (kN); α là góc cắt của răng cắt (độ), 30° đến 60° ; β là góc trượt (độ); φ là góc ma sát trong (độ), 38° ; δ là góc ma sát ngoài (độ), 26° ; A là lực dính trên răng cắt (kN); C là lực dính trên mặt phẳng trượt (kN); I là lực quán tính trên mặt phẳng trượt (kN); G là trọng lực tác dụng lên lớp cát (kN); W_1 là áp lực tác dụng lên mặt trượt (kN); W_2 là áp lực tác dụng lên mặt răng cắt (kN);



Hình 5. Các lực tác dụng lên răng cắt

+ Theo [6] Lực K_1 tác dụng lên mặt phẳng trượt:

$$K_1 = \frac{W_2 \sin \beta + W_1 \sin(\alpha + \beta + \delta) + G \sin(\alpha + \delta) - (I + C) \cos(\alpha + \beta + \delta) + A \cos \delta}{\sin(\alpha + \beta + \delta + \varphi)} \quad (10)$$

+ Lực K_2 tác dụng lên răng cắt [6]:

$$K_2 = \frac{W_2 \sin(\alpha + \beta + \varphi) + W_1 \sin \varphi + G \sin(\beta + \varphi) + (I + C) \cos \varphi - A \cos(\alpha + \beta + \varphi)}{\sin(\alpha + \beta + \delta + \varphi)} \quad (11)$$

+ Từ phương trình (11) ta có thể phân tích lực tác dụng lên răng cắt theo hai phương như sau:

$$F_c^h = -W_2 \sin \alpha + K_2 \sin(\alpha + \delta) + A \cos \alpha \quad F_c^v = -W_2 \cos \alpha + K_2 \cos(\alpha + \beta) - A \sin \alpha \quad (12)$$

+ Nếu không có xâm thực thì W_1 và W_2 được tính như sau [6]:

$$W_1 = \frac{p_{1m} \rho_w g v_c \varepsilon h_i^2 b}{(a_1 k_i + a_2 k_{\max}) \sin \beta} = \frac{p_{1m} \rho_w g v_c \varepsilon h_i^2 b}{k_m \sin \beta} \quad W_2 = \frac{p_{2m} \rho_w g v_c \varepsilon h_b b}{(a_1 k_i + a_2 k_{\max}) \sin \alpha} = \frac{p_{2m} \rho_w g v_c \varepsilon h_b b}{k_m \sin \alpha} \quad (13)$$

trong đó: a_1, a_2 là hệ số thấm trọng; k_i là độ thấm ban đầu (m/s); $k_{\max}$ là độ thấm tối đa (m/s); k_m là độ thấm trung bình (m/s), có giá trị nằm trong khoảng $(11 \div 12) \cdot 10^{-5}$; p_{1m} là áp lực lỗ rỗng trung bình trên mặt trượt (kPa); p_{2m} là áp lực lỗ rỗng trung bình trên răng cắt (kPa); ρ_w là trọng lượng riêng của nước (tấn/m³), $\rho_w = 1000$; ε là hệ số tơ xốp;

+ Nếu có xâm thực thì W_1 và W_2 trở thành [6]:

$$W_1 = \frac{\rho_w g (z + 10) h_i b}{\sin \beta} \quad W_2 = \frac{\rho_w g (z + 10) h_b b}{\sin \alpha} \quad (14)$$

+ Lực quán tính I được xác định bằng công thức [6]:

$$I = \rho_g v_c^2 \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} h_i b \quad (15)$$

trong đó: ρ_g là trọng lượng riêng của nền san hô (tấn/m³), $\rho_g = 2,5$ (tấn/m³); h_i là chiều dày của lớp cát (m/vòng), tính theo công thức [6]:

$$h_i = \frac{60 \cdot v_{dt}}{n_r \cdot n} \quad (16)$$

trong đó: b là bề rộng răng cắt (m); h_b là độ cao của răng cắt (m); v_c là thành phần vận tốc cắt vuông góc với răng cắt (m/s);

+ Lực dính và lực bám dính được tính theo công thức sau [6]:

$$C = \frac{c h_i b}{\sin \beta} \quad A = \frac{a h_b b}{\sin \alpha} \quad (17)$$

trong đó: a là độ bám dính và độ bền cắt ngoài (kPa); c là độ dính và độ bền cắt trong (kPa);

+ Trọng lực G tác dụng lên lớp cát được tính như sau [6]:

$$G = (\rho_g - \rho_w) g h_i b \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin \beta} \left\{ \frac{(h_b + h_i \sin \alpha)}{\sin \alpha} + \frac{h_i \cos(\alpha + \beta)}{2 \sin \beta} \right\} \quad (18)$$

- Mô men cản quay gây ra tại răng cắt:

$$M_c^h = F_c^h \cdot \frac{D + d}{4} = \frac{D + d}{4} \cdot (-W_2 \sin \alpha + K_2 \sin(\alpha + \delta) + A \cos \alpha) \quad (19)$$

- Tổng mô men cản quay tác dụng lên cọc:

$$\begin{aligned} M &= M_{mse}^h + M_{msi}^h + M_c^h \\ &= \pi \mu K_p \frac{D + d}{2} \cos \delta \left[\gamma_1 \cdot H_1^2 + \gamma_2 \cdot (H_2^2 - H_1^2) + \gamma_3 \cdot (H_3^2 - H_2^2) \right] \\ &\quad + \frac{D + d}{4} (-W_2 \sin \alpha + K_2 \sin(\alpha + \delta) + A \cos \alpha) \end{aligned} \quad (20)$$

- Xác định công suất của mô tơ quay khi quay hạ cọc

Công suất mô tơ cần thiết để thắng mô men cản quay tác dụng lên cọc được xác định như sau:

$$N = M \cdot \omega_c \cdot \eta = \pi n / 30 \cdot M \cdot \eta$$

$$N = \pi^2 \eta (n/30) \mu K_p \frac{D+d}{2} \cos \delta \left[\gamma_1 H_1^2 + \gamma_2 (H_2^2 - H_1^2) + \gamma_3 (H_3^2 - H_2^2) \right] + \frac{D+d}{4} (-W_2 \sin \alpha + K_2 \sin (\alpha + \delta) + A \cos \alpha) \quad (21)$$

trong đó: N là công suất cần thiết của mô tơ dẫn động quay (kW); M là tổng mô men cần quay tác dụng lên cọc (kNm); n là số vòng quay của cọc (vòng/ph); η là hiệu suất của bộ truyền từ mô tơ quay tới cọc $\eta = 0,97$.



3. Sự phụ thuộc công suất của mô tơ quay vào tốc độ hạ cọc

3.1 Các thông số đầu vào của bài toán

Bài báo sử dụng phần mềm Matlab để giải bài toán ở phương trình (21) với các thông số đầu vào như sau:

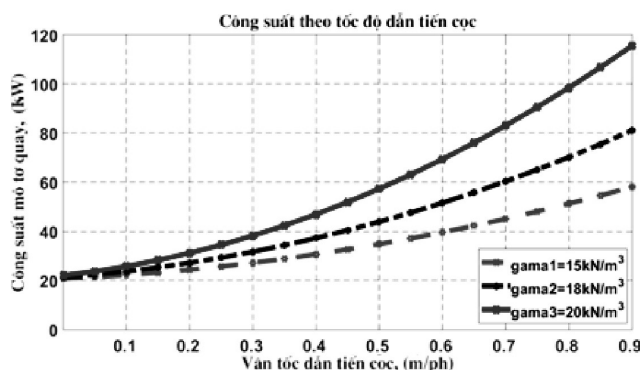
Thông số hình học của cọc: Đường kính $D=400\text{mm}$, bề dày thành cọc $6,5\text{mm}$, đầu cọc có gắn một vành có răng cắt, vật liệu làm cọc là thép CT3. Thuộc tính của nền san hô: loại 1, $\gamma_1=15\text{ kN/m}^3$; loại 2, $\gamma_2=18\text{ kN/m}^3$; loại 3, $\gamma_3=25\text{ kN/m}^3$; Hệ số ma sát giữa nền san hô và thép: $\mu=0,358$ [5], góc ma sát giữa thép và san hô $\delta = 20^\circ$; Góc nội ma sát của cát san hô, $\phi = 36^\circ$; Góc cắt $\alpha = 60^\circ$; Góc trượt $\beta = 22,506$ [4]; Số răng cắt n_r răng; Tốc độ dẫn tiến thay đổi từ $0,1 \div 1,0\text{ m/ph}$; Tốc độ quay cọc 6 vg/ph ; Bề rộng răng cắt $b=0,007\text{ m}$; Độ thấm trung bình $k_m=0,00012\text{ m/s}$; Theo [4] áp lực lỗ rỗng trung bình trên mặt trượt $p_{1m}=0,339$; Áp lực lỗ rỗng trung bình trên răng cắt $p_{2m}=0,196$; Hệ số độ dính ngoài $a = 0,36\text{ kPa}$; Hệ số độ dính trong $c = 1\text{ kPa}$; Hệ số biến dạng $\varepsilon = 0,2092$; $\sigma_0=6820\text{ kPa}$; $\Delta\sigma=106,25\text{ kPa}$

3.2 Khảo sát sự thay đổi công suất mô tơ quay cọc khi thay đổi tốc độ dẫn tiến cọc

Khi thay đổi tốc độ dẫn tiến cọc thì chiều dày lớp cát cũng thay đổi vì thế lực cản cát tác dụng lên các răng cắt cũng thay đổi theo. Ảnh hưởng của tốc độ dẫn tiến cọc đến công suất dẫn động mô tơ quay được thể hiện trên bảng 1 và đồ thị Hình 6. Nhìn vào đồ thị ta thấy khi thay đổi vận tốc dẫn tiến cọc thì công suất mô tơ quay tăng khi tăng vận tốc dẫn tiến cọc. Ở tầng san hô có tỷ trọng lớn hơn thì cần công suất mô tơ quay cọc lớn hơn khi vận hành với cùng một vận tốc dẫn tiến. Khi tính toán thiết kế cần lựa chọn vận tốc dẫn tiến hợp lý để đảm bảo công suất của nguồn động lực đủ để cung cấp dẫn động mô tơ quay cọc. Khi tiến hành quay hạ cọc thì tùy từng loại san hô mà chọn vận tốc dẫn tiến cọc hợp lý để đạt năng suất cao mà đảm bảo không quá tải mô tơ quay.

Bảng 1. Công suất mô tơ quay theo tốc độ dẫn tiến cọc (kW)

Các loại san hô	Tốc độ dẫn tiến cọc (m/ph)									
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
San hô loại 1	20,00	22,16	24,21	25,5	31,07	35,02	40,51	45,50	52,03	59,14
San hô loại 2	20,15	24,13	26,27	31,24	37,16	44,22	51,53	60,25	69,52	80,54
San hô loại 3	20,25	25,50	31,18	38,27	47,05	57,31	69,48	83,06	98,03	116,78



Hình 6. Sự thay đổi công suất dẫn động mô tơ quay theo vận tốc dẫn tiến cọc



4. Kết luận

Bài báo đã trình bày phương pháp tính toán mô men cản tác dụng lên thành cọc và răng cọc trong hai trường hợp là nền đồng nhất và nền không đồng nhất, từ đó xây dựng mối quan hệ công suất mô tơ dẫn động quay cọc với tốc độ hạ cọc trong ba loại san hô có tỷ trọng khác nhau (lớp san hô cát, lớp san hô cành nhánh và lớp san hô đá liền khối).

Kết quả cho thấy khi công suất mô tơ quay cọc là 60kW thì quay hạ cọc ở tầng san hô cát có thể đạt vận tốc 1m/ph; Khi quay hạ cọc ở lớp cành nhánh vận tốc hạ cọc tối đa đạt 0,8m/ph; Khi quay hạ cọc ở tầng đá san hô liền khối thì vận tốc hạ cọc tối đa chỉ đạt 0,62m/ph. Dựa vào kết quả trên khi tính toán, thiết kế chế tạo thiết bị quay hạ cọc chúng ta có cơ sở để lựa chọn mô tơ quay hợp lý.

Lời cảm ơn: Bài báo nhận được sự hỗ trợ của nhóm nghiên cứu đề tài độc lập cấp quốc gia mã số: ĐTĐL. CN-17/15.

Tài liệu tham khảo

1. Viking K. (1998), "Driveability studies of vibro-driven model piles in non-cohesive soils - laboratory simulations", *Soil and Rock Mechanics*, 113-118.
2. Trần Hữu Lý, Nguyễn Duy Đạt, Lương Khánh Tinh (2015), "Nghiên cứu hạ cọc thép xuống nền san hô bằng phương pháp khoan xoay", *Tạp chí khoa học kỹ thuật*, Học viện Kỹ thuật quân sự, (171):74-81.
3. White D.J., Sidhu H.K., Finlay T.C.R., Bolton M.D., Nagayama T. (2012), "Press-in Piling: the influence of plugging on driveability", *8th International Conference of the Deep Foundations Institute*, New York, 299-310.
4. Hazla E. (2013), *Rotary Press-in Piling in Hard Ground*, Fourth-year undergraduate project in Group D.
5. Hoàng Xuân Lượng (2010), *Nghiên cứu các chỉ tiêu kỹ thuật của nền san hô và tương tác giữa kết cấu công trình và nền san hô*, Báo cáo tổng hợp kết quả đề tài nhà nước mã số: KC.09.07/06-10.
6. Miedema A.(1987), "Calculation of the Cutting Force when Cutting Water Saturated Sand", *Proc. WOD-CON XII*, Orlando, Florida, USA.