

# Phân tích sức chịu tải nhỏ của tấm neo trong nền sét không đồng nhất không đẳng hướng bằng mô hình NGI-ADP

Lại Văn Quý<sup>1,2\*</sup>, Nguyễn Đăng Khoa<sup>3</sup>, Dương Nhật Tân<sup>1,2</sup>, Đặng Hoàng Long<sup>1,2</sup>, Nguyễn Việt Anh Khoa<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Khoa Kỹ Thuật Xây Dựng, Trường Đại Học Bách Khoa TP.HCM.

<sup>2</sup>Đại Học Quốc Gia TP.Hồ Chí Minh.

<sup>3</sup>Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mở Thành Phố Hồ Chí Minh.

## TỪ KHÓA

Tấm neo  
Móng ngoài khơi  
Nền sét không đồng nhất không đẳng hướng  
Mô hình ngi-adp  
ANN

## TÓM TẮT

Bài báo phân tích sức chịu tải nhỏ của tấm neo tròn trong nền sét không đồng nhất, không đẳng hướng bằng mô hình vật liệu đất NGI-ADP. Mô hình phân tích được thực hiện bằng phần mềm phần tử hữu hạn Plaxis 2D V2020. Các thông số ảnh hưởng đến sức chịu tải nhỏ tấm neo trong nền sét không đồng nhất, không đẳng hướng gồm chiều sâu đặt tấm neo ( $H$ ), thông số thể hiện sự tính không đồng nhất của nền sét ( $m$ ), thông số thể hiện tính không đẳng hướng của nền sét ( $r_e$ ) được đưa vào phân tích. Sức chịu tải nhỏ của tấm neo tròn được phân tích thông qua hệ số sức chịu tải  $N$ . Kết quả phân tích cho thấy hệ số sức chịu tải tăng khi tỷ số không thứ nguyên chiều sâu đặt tấm neo và đường kính tấm neo tăng ( $H/D$ ), giảm khi hệ số thể hiện tính không đẳng hướng của nền sét giảm ( $r_e$  giảm). Hệ số sức chịu cũng giảm khi hệ số thể hiện tính không đồng nhất của nền sét tăng ( $m$ ), tuy nhiên giá trị sức chịu tải nhỏ vẫn tăng theo sự tăng của hệ số  $m$ . Bằng việc áp dụng mô hình ANN (Artificial neurons network) dựa trên kết quả phân tích bằng mô hình phần tử hữu hạn, bài báo cũng đề xuất mô hình ANN với cấu trúc 3-10-1 cho kết quả đầu ra tương đồng với kết quả phân tích bằng mô hình phần tử hữu hạn.

## KEYWORDS

Plate anchor  
Off-shore foundation  
Anisotropic undrained clays  
NGI-ADP model  
ANN

## ABSTRACT

The paper analyzes the uplift resistance of circular plate anchor in non-homogenous and anisotropic clays using NGI-ADP material model. The finite element model is implemented by Plaxis 2D V2020. The effect parameters on uplift resistance of plate anchor in nonhomogenous and anisotropic clays, i.e embedded depth of anchor ( $H$ ), non-homogenous ratio ( $m$ ), anisotropic ratio ( $r_e$ ), are considered in analysis process. The uplift resistance of plate anchor is determined by resistance factor  $N$ . The results show that, the resistance factor  $N$  increase by increase of ratio between  $H$  and diameter of plate anchor ( $H/D$ ) and decrease when  $r_e$  decrease. the resistance factor  $N$  is also decrease by increase of  $m$ . However, the uplift resistance of plate anchor is still increase by increase of  $m$ . Besides, The ANN (Artificial neurons network) model is applied in this study based on data from finite element analysis results. With architecture of ANN is 3-10-1, the predict results from ANN give well agreement with results from finite element analysis.

## 1. Giới thiệu

Các kết cấu ngoài khơi ngày càng được quan tâm ở Việt Nam do tốc độ phát triển về kinh tế và khả năng xây dựng. Việc làm chủ các vùng nước xa bờ ngày càng là nhu cầu thiết thực trong phát triển kinh tế. Việc lựa chọn kết cấu móng cho các công trình ngoài khơi cũng rất cần thiết với các yêu cầu nghiêm ngặt về sức chịu tải nhỏ. Các loại móng ngoài khơi điển hình như móng giằng chìm, móng neo: dải tấm neo hình chữ nhật, hình vuông, tấm neo hình tròn. Gần đây, sự phát triển của tấm neo hình tròn đạt được nhiều sự chú ý trong thực tế và trong nghiên cứu [1-4] do tính cơ động trong thi công, lắp đặt và khả năng chịu lực. Tuy nhiên ở Việt Nam vẫn chưa có nhiều nghiên cứu về tấm neo tròn

cũng như sức chịu tải nhỏ của tấm neo tròn.

Nền sét không đồng nhất về sức chịu tải, cụ thể là nền sét có sức chống cắt  $S_u$  tăng dần theo độ sâu, Hình 1, đã được đề cập tới trong rất nhiều nghiên cứu trước đây [5-8]. Tuy nhiên ở những nghiên cứu gần đây hơn, việc phân tích ứng xử về nền sét không đẳng hướng cũng nhận được nhiều quan tâm [9-15]. Nền sét không đẳng hướng ở đây là nền sét có sức chống cắt  $S_u$  theo đôi theo phương chịu lực, như được thể hiện ở Hình 2. Cụ thể hơn, ở các vùng đất chủ động, sức chống cắt của nền sét sẽ phù hợp với sức chống cắt xác định từ thí nghiệm 3 trục nén, vùng đất trung hòa, sức chống cắt sẽ phù hợp với giá trị xác định từ thí nghiệm cắt trực tiếp, và ở vùng đất bị động, sức chống cắt nên được xác định từ thí nghiệm 3 trục nở. Điều này đã được rất nhiều nhà nghiên

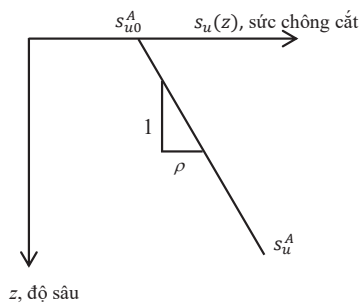
\*Liên hệ tác giả: lvqui@hcmut.edu.vn

Nhận ngày 20/12/2021, sửa xong ngày 15/01/2022, chấp nhận đăng 26/05/2022

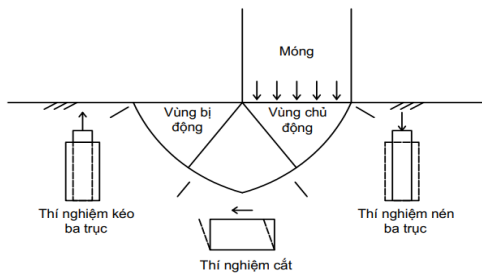
Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.04.2022.362>

cứ quan tâm, cụ thể: Ladd CC và DeGroot DJ [11], Krabbenhoft và công sự [12], Grimstad và công sự [15]. Hiện nay đã có các mô hình về phân tích ứng xử của nền sét không đẳng hướng như AUS, NGI-ADP. Tuy nhiên việc áp dụng phân tích về sức chịu tải nhỏ của tấm neo tròn trong nền sét không đồng nhất vẫn chưa có nhiều nghiên cứu.

Do đó, trong bài báo này sẽ tiến hành phân tích sức chịu tải nhỏ của tấm neo tròn trong nền sét không đồng nhất, không đẳng hướng sử dụng mô hình vật liệu NGI-ADP và sự trợ giúp của phần mềm Plaxis 2D V2020. Sức chịu tải nhỏ của tấm neo được phân tích thông qua hệ số sức chịu tải  $N$ . Cụ thể hơn, các thông số thể hiện sự không đồng nhất của nền đất sét (cụ thể sức chống cắt tăng dần theo độ sâu) và thông số thể hiện sự không đẳng hướng của nền đất sét (cụ thể là sức chống cắt thay đổi theo phương chịu lực) sẽ được đưa vào kiểm tra sự ảnh hưởng đến sức chịu tải nhỏ của tấm neo tròn.



Hình 1. Sức chống cắt tăng theo độ sâu trong nền sét không đồng nhất về sức chống cắt.



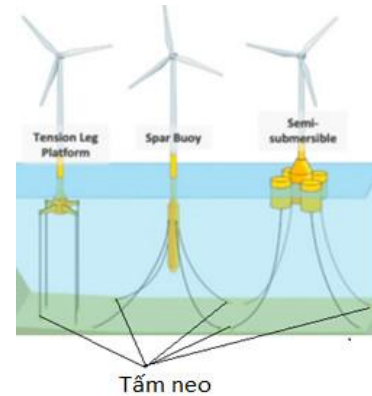
Hình 2. Sự thay đổi sức chống cắt theo các phương chịu lực khác nhau trong bài toán nền sét không đẳng hướng về sức chịu tải.

## 2. Giới thiệu về tấm neo tròn – kết cấu móng ngoài khơi

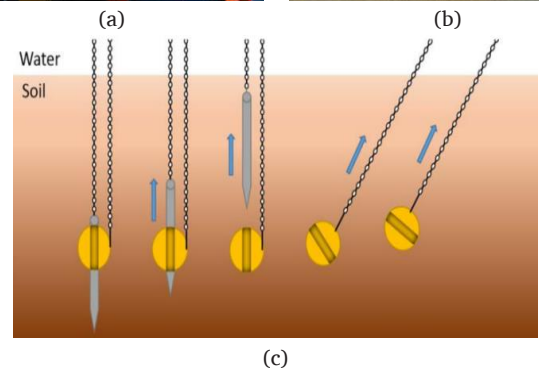
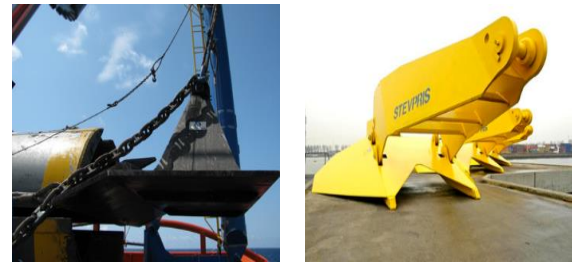
Tấm neo thường được sử dụng trên bờ và ngoài khơi để làm nền móng cho các cấu trúc yêu cầu khả năng chống nâng (hoặc thẳng đứng hoặc nghiêng). Chúng bao gồm các giàn khoan nổi ngoài khơi, đường ống chôn lấp, tháp truyền động và tường cọc ván. Hình 3 thể hiện một ví dụ về sử dụng tấm neo cho kết cấu móng điện gió ngoài khơi.

Các mỏ neo ngoài khơi và trên bờ rất khác nhau về hình dạng, kích thước, phương thức hoạt động, lắp đặt và sử dụng. Hơn nữa, đây là một giải pháp neo thường dùng cho các cơ sở dầu khí, giàn khoan, hay móng điện gió trên biển vì chúng là một phương pháp hiệu quả để chống lại các thành phần của tải trọng thẳng đứng để neo ở các vùng nước sâu. Một số cấu tạo về mỏ neo trong thực tế được thể hiện ở Hình

4. Hiện nay tấm neo hình tròn đang được sử dụng phổ biến hơn với công nghệ lắp đặt ngày càng đơn giản, như Hình 4c.



Hình 3. Kết cấu tấm neo chịu nhỏ cho móng ngoài khơi [16].



Hình 4. Các loại tấm neo trong thực tế. (a) neo hình vuông, (b) neo hình xoắn, (c) neo hình tròn [17].

## 3. Mô hình vật liệu đất NGI-ADP cho nền sét không đồng nhất, không đẳng hướng

Như đã trình bày sơ bộ về nền sét không đồng nhất và không đẳng hướng ở phần giới thiệu, trong phần này, nhóm tác giả không đi vào giải thích về nền sét không đồng nhất nữa mà sẽ tập trung mô tả về mô hình vật liệu NGI-ADP được sử dụng trong bài báo này để mô phỏng nền sét không đồng nhất, không đẳng hướng.

Mô hình NGI-ADP được Grimstad và công sự [15] lần đầu tiên đề xuất vào năm 2012. Trong mô hình này, bằng việc nhập các thông số sức kháng cắt  $S_u$  khác nhau từ thí nghiệm cắt trực tiếp, thí nghiệm ba trục nén và kéo, có thể xác định được ứng xử không đẳng hướng của

nền sét. Hiện nay, mô hình NGI-ADP đã được áp dụng trong rất nhiều nghiên cứu [18-20]

Trong chương trình phần tử hữu hạn Plaxis 2D V2020 đã cập nhật mô hình vật liệu NGI-ADP trong phân tích các bài toán địa kỹ thuật và giới thiệu chi tiết về các thông số. Trong đó, các thông số cơ bản của mô hình NGI-ADP được thể hiện ở Hình 5, Hình 6

Cụ thể, Mô hình NGI-ADP yêu cầu các thông số sau:

$G_{ur}/S_u^A$  là tỷ lệ mô đun cắt khi gia tải hoặc dỡ tải với sức chống cắt không thoát nước dạng chủ động. Tỷ lệ độ cứng cắt gia tải/ dỡ tải như một tỷ số của lực cắt chủ động biến dạng phẳng. Nếu cường độ cắt tăng theo chiều sâu thì tỷ số  $G_{ur}/S_u^A$  cho sức chống cắt tăng tuyến tính theo chiều sâu (nền không đồng nhất)

$\gamma_f^C$  là Biến dạng cắt khi bị phá hoại trong nền ba trục. Tham số  $\gamma_f^C$  (%) xác định biến dạng cắt mà tại đó sự phá hủy đạt được khi không thoát nước dưới tác dụng của tải trọng ở chế độ nén ba trục, tức là  $\gamma_f^C = 1.5\varepsilon_{C1}$  từ thí nghiệm ba trục.

$\gamma_f^E$  là biến dạng cắt khi bị phá hoại trong phần mở rộng ba trục. Tham số  $\gamma_f^E$  (%) xác định biến dạng cắt mà tại đó sự phá hủy đạt được khi không thoát nước trong chế độ tải trọng ở chế độ nén ba trục, tức là  $\gamma_f^E = 1.5\varepsilon_{E1}$

$\gamma_f^{DSS}$  là biến dạng cắt khi phá hoại khi cắt trực tiếp. Tham số  $\gamma_f^{DSS}$  (%) xác định biến dạng cắt mà tại đó sự phá hủy đạt được khi không thoát nước ở chế độ cắt trực tiếp (thiết bị DSS). Đối với đất sét cổ kết thường, biến dạng trong tải nén  $\gamma_f^C$  là thấp nhất và biến dạng khi tải phần mở rộng  $\gamma_f^E$  là cao nhất. Biến dạng do tải trọng cắt trực tiếp lấy giá trị trung gian, tức là  $\gamma_f^C < \gamma_f^{DSS} < \gamma_f^E$ . Từ kết quả xét nghiệm trong phòng thí nghiệm thực tế, người ta thấy  $\gamma_f^E$  thường nằm trong khoảng 3-8%,  $\gamma_f^{DSS}$  trong khoảng 2-8% và  $\gamma_f^C$  trong khoảng 0.5-4%.

Tham chiếu độ bền cắt chủ động  $s_{u,ref}^A$ . Độ bền cắt hoạt động tham chiếu là độ bền cắt thu được trong (biến dạng phẳng) đường dẫn ứng suất chủ động không thoát nước cho độ sâu tham chiếu  $\gamma_{ref}$ , được biểu thị bằng đơn vị ứng suất.

Tỷ lệ độ bền cắt nén ba trục trên lực cắt chủ động  $s_{u,C,TX}/s_{u,ref}^A$ . Tỷ lệ này xác định độ bền cắt trong chế độ nén ba trục không thoát nước của tải trọng liên quan đến cường độ cắt trong chế độ chủ động không thoát nước trong biến dạng phẳng và được xác định trước ở mức 0.99, thực tế là cùng cường độ trong điều kiện biến dạng ba trục và biến dạng phẳng.

Độ sâu tham chiếu  $\gamma_{ref}$ . Ở độ sâu tham chiếu  $\gamma_{ref}$  tại đó cường độ cắt hoạt động tham chiếu  $s_{u,ref}^A$  xác định. Dưới độ sâu này, sức chống cắt và độ cứng có thể tăng tuyến tính theo chiều sâu. Trên độ sâu tham chiếu, độ bền cắt bằng  $s_{u,ref}^A$

Độ tăng của tăng cường độ cắt theo độ sâu  $s_{u,inc}^A$ . Tham số này xác định mức tăng hoặc giảm của sức chống cắt không thoát nước chủ động theo độ sâu, được biểu thị bằng đơn vị ứng suất trên một đơn vị chiều sâu. Trên độ sâu tham chiếu, độ bền cắt bằng  $s_{u,ref}^A$ , dưới độ sâu tham chiếu độ bền cắt được xác định bằng công thức số 1

$$s_u^A(\gamma) = s_{u,ref}^A + (\gamma_{ref} - \gamma)s_{u,inc}^A \quad (1)$$

Tỷ lệ giữa độ bền cắt bị động so với độ bền cắt chủ động ( $s_u^P/s_u^A$ )

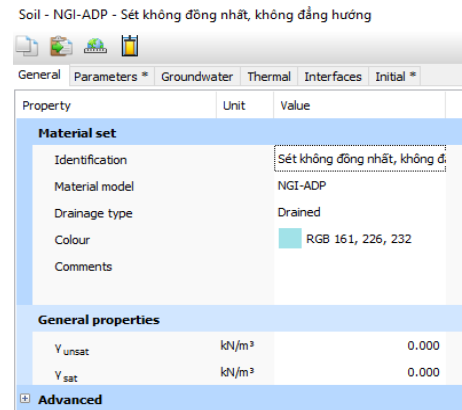
Tỷ lệ giữa độ bền cắt trực tiếp trên độ bền cắt chủ động ( $s_u^{DSS}/s_u^A$ ).

Đối với các loại đất sét cổ kết thường,  $s_u^P$  cường độ thụ động thường là giá trị thấp nhất, trong khi cường độ cắt trực tiếp lấy giá trị trung gian. Từ kết quả trong phòng thí nghiệm, người ta thường thấy rằng  $s_u^P/s_u^A$  trong khoảng 0.3 – 0.9 và  $s_u^{DSS}/s_u^A$  trong khoảng 0.3 – 0.8. Nếu cường độ cắt đơn giản trực tiếp không có  $s_u^{DSS}$  có thể được ước tính bằng

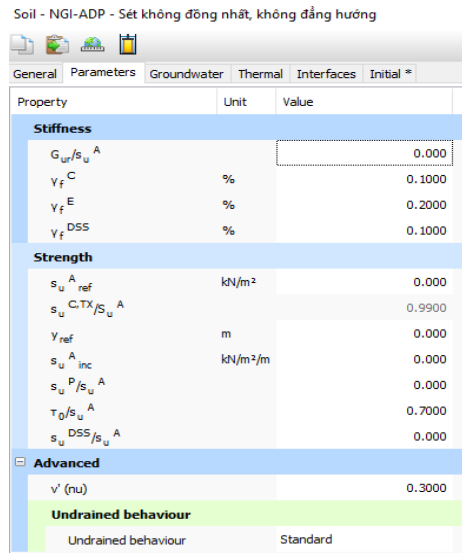
$$s_u^{DSS}/s_u^A = \frac{1+(s_u^P/s_u^A)}{2} \quad (2)$$

Huy động lực cắt ban đầu ( $\tau_0/s_u^A$ ). Mức huy động ban đầu có thể được tính từ hệ số áp suất đất ở trạng thái nghỉ  $K_0$  theo phương trình  $\tau_0/s_u^A = \frac{-0.5(1-K_0)\sigma'_{yy0}}{s_u^A}$ , trong đó  $\sigma'_{yy0}$  là ứng suất tác dụng ban đầu theo phương thẳng đứng. Giá trị mặc định của  $\tau_0/s_u^A = 0.7$

Hệ số Poisson ( $\nu$ ). Tương tự như trong mô hình Mohr-Coulomb, tỷ lệ Poisson từ 0.3 đến 0.4. Khi tùy chọn thoát nước Undrained (C) được sử dụng, hệ số Poisson gần đến 0.5 nên được nhập bằng 0.495 làm mặc định.



Hình 5. Thông số đầu vào mô hình NGI-ADP.

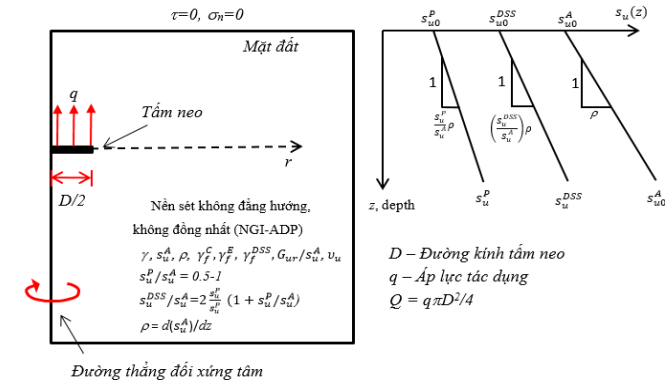


Hình 6. Thông số đầu vào mô hình NGI-ADP (tiếp theo).

#### 4. Mô hình Plaxis và kết quả phân tích

##### 4.1. Các trường hợp được phân tích

Trong bài báo này, bài toán tẩm neo trong nền sét không đồng nhất, không đẳng hướng để thể hiện ở Hình 7. Trong đó, các thông số về nền đất sét không đồng nhất, đường kính tẩm neo  $D$  và độ chôn tẩm neo  $H$  được hiện hiện chi tiết.



**Hình 7.** Thông số bài toán phân tích sức tải tẩm neo trong nền sét không đồng nhất, không đẳng hướng.

Khả năng chịu lực của tẩm neo sẽ được phân tích thông qua phương pháp chuẩn hóa thông số không thứ nguyên được đề xuất bởi Butterfield (1999). Trong đó, khả năng chịu lực của móng vành khăn trong nền đất không đồng nhất, không đẳng hướng được đánh giá qua giá trị hệ số sức chịu tải không thứ nguyên  $N$ , được thể hiện ở công thức bên dưới. Hệ số này cũng được đề cập phân tích trong nghiên cứu của Khatri và Kumar [2] cho trường hợp nền sét không đồng nhất và đẳng hướng.

$$N = \frac{Q}{S_{u0}+H} = f\left(\frac{H}{D}, m = \frac{\rho D}{S_{u0}}, r_e = \frac{S_u^p}{S_u^A}\right) \quad (3)$$

Với  $Q$  là tải trọng tập trung thẳng đứng tác dụng lên tẩm neo,  $Q$  có giá trị phụ thuộc vào áp lực thẳng đứng đơn vị  $q$ , thông số  $r_e$  (thông số thể hiện sự không đẳng hướng của sức kháng cắt),  $m$  (thông số thể hiện sự không đồng nhất của sức kháng cắt theo độ sâu, hay tên gọi khác là thông số tăng dần sức kháng cắt theo độ sâu) và  $H/D$  (tỉ số độ sâu chôn tẩm neo và đường kính tẩm neo).

Để đánh giá ảnh hưởng của các thông số khảo sát đến hệ số sức chịu tải  $N$ , học viên đã thay đổi các thông số  $r_e$ ,  $m$ ,  $H/D$  và được cụ thể hóa bởi các phân tích dưới đây:

. Phân tích ảnh hưởng của sự đồng đẳng hướng của nền sét đến khả năng chịu lực của tẩm neo thông qua sự thay đổi của hệ số  $r_e$ . Các hệ số  $r_e$  được sử dụng để phân tích gồm  $r_e = 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 1$ . Các hệ số này được tham khảo trong các phân tích về nền đất sét không đẳng hướng sử dụng mô hình NGI-ADP từ các nghiên cứu trước đây [21, 22]

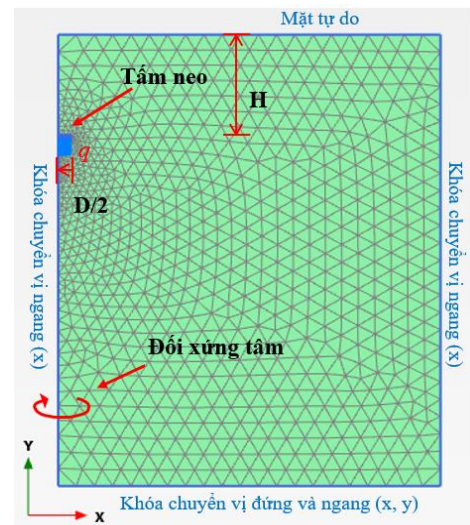
. Phân tích ảnh hưởng của nền sét không đồng nhất đến khả năng chịu lực của tẩm neo thông qua sự thay đổi của hệ số  $m$ . Các hệ số  $m$  được sử dụng để phân tích gồm  $m = 0, 0.4, 1, 2$ . Các hệ số này

được tham khảo trong các phân tích về tẩm neo trong nền sét không đồng nhất của Khatri và Kumar [2]. Hơn thế nữa các trường hợp  $m$  này cũng đại diện cho những điều kiện địa chất thực tế.

. Phân tích ảnh hưởng của hệ số không thứ nguyên - độ sâu chôn tẩm neo và đường kính tẩm neo đến khả năng chịu lực của tẩm neo thông qua sự thay đổi của hệ số  $H/D$ . Các hệ số  $m$  được sử dụng để phân tích gồm  $H/D = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ . Các hệ số này được tham khảo trong các phân tích về tẩm neo trong nền sét không đồng nhất của Khatri và Kumar [2].

##### 4.2. Mô hình Plaxis

Các phân tích này được thực hiện bằng phương pháp phần tử hữu hạn với sự hỗ trợ của phần mềm Plaxis 2D phiên bản 2020. Mô hình phân tích phần tử hữu hạn bao gồm hai bộ phận là tẩm neo và nền. Do tính đối xứng trục trong hình học và tải trọng, mô hình phân tích sẽ được mô phỏng theo bài toán đối xứng tâm, thể hiện ở Hình 2. Một tải trọng thẳng đứng hướng lên phân bố đều tác dụng lên tẩm neo. Móng và tải trọng tác dụng được đặt theo độ sâu  $H$ , với tỷ lệ  $H/D$  trong khoảng từ 1-6 như đã mô tả ở phần 4.1. Chi tiết về điều kiện biên của mô hình được thể hiện ở Hình 8. Kích thước của mô hình đã được lựa chọn để bỏ qua những ảnh hưởng của điều kiện biên đến kết quả phân tích.



**Hình 8.** Mô hình phân tích tẩm neo trong nền sét không đồng nhất không đẳng hướng bằng phần mềm Plaxis 2D, V2020.

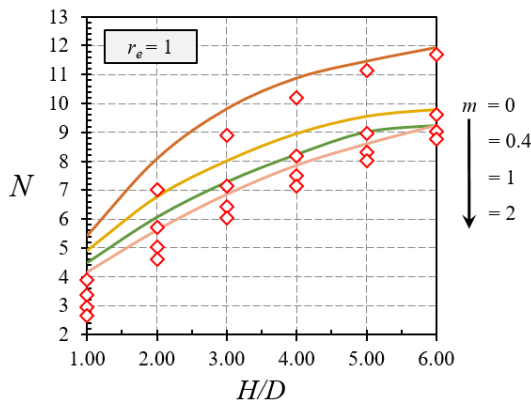
##### 4.3. Kết quả phân tích

Các kết quả phân tích của 144 trường hợp được thể hiện ở Bảng 1. Để kiểm tra tính phù hợp của các kết quả phân tích. Kết quả phân tích sẽ được so sánh với trường hợp phân tích tẩm neo trong nền đất sét không đồng nhất và đẳng hướng ( $r_e = 1$ ) của Khatri và Kumar [2]. Việc so sánh kết quả phân tích được thể hiện ở hình số 9. Với kết quả thể hiện ở hình 9, ta thấy rằng kết quả phân tích hệ số sức chịu tải  $N$  bằng



mô hình NGI-ADP cho tấm neo trong nền sét không đồng nhất và đẳng hướng ( $r_e = 1$ ) là tương đồng với kết quả của Khatri và Kumar [2]. Sự tương đồng này được giải thích là do mô hình NGI-ADP sẽ chuyển thành mô hình Treca – mô hình được sử dụng trong bài toán phân tích của Khatri và Kumar [2] ứng với trường hợp  $r_e = 1$ . Điều này cho thấy, kết quả phân tích là phù hợp với nghiên cứu trước đây và có thể mở rộng phân tích cho trường hợp tấm neo trong nền sét không đẳng hướng. Lưu ý rằng, việc phân tích cho tấm neo trong nền sét không đẳng hướng bằng mô hình NGI-ADP chưa được thực hiện trước đây, nên tác giả không thể so sánh cho các trường hợp không đẳng hướng ứng với  $r_e = 0.4 - 0.8$ . Bên cạnh đó cũng cho thấy sự tối ưu của mô hình NGI-ADP, bên cạnh việc phân tích cho nền sét đẳng hướng còn có thể phân tích cho nền sét không đẳng hướng.

Ở các Hình 10, 11, 12, tác giả tiến hành phân tích ảnh hưởng của các thông số  $r_e$ ,  $m$ ,  $H/D$  đến hệ số sức chịu tải  $N$ . Cụ thể hơn, ở Hình 10 là phân tích ảnh hưởng của thông số không thứ nguyên  $H/D$  đến hệ số sức chịu tải  $N$  cho các trường hợp  $m = 0, 0.4, 1, 2$  và  $r_e = 0.4-1$ . Kết quả cho thấy là, khi tỷ số  $H/D$  càng tăng, hệ số  $N$  càng tăng ứng với cả 4 trường hợp của  $m = 0, 0.4, 1, 2$  và tất cả các trường hợp của  $r_e = 0.4 - 1$ . Kết quả tăng này được giải thích là chiều sâu chôn tấm neo càng lớn thì lực huy động từ nền đất bên trên sẽ càng lớn

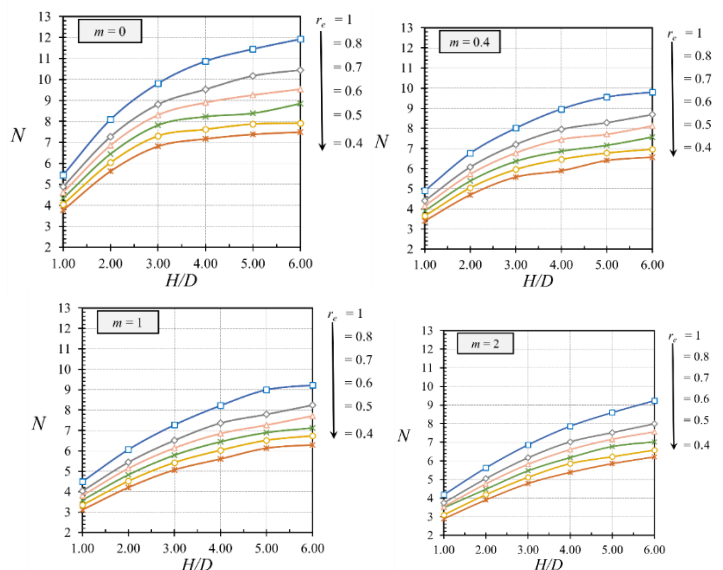


Hình 9. So sánh với nghiên cứu trước đây về phân tích sức chịu tải tấm neo trong nền đất sét không đồng nhất, đẳng hướng.

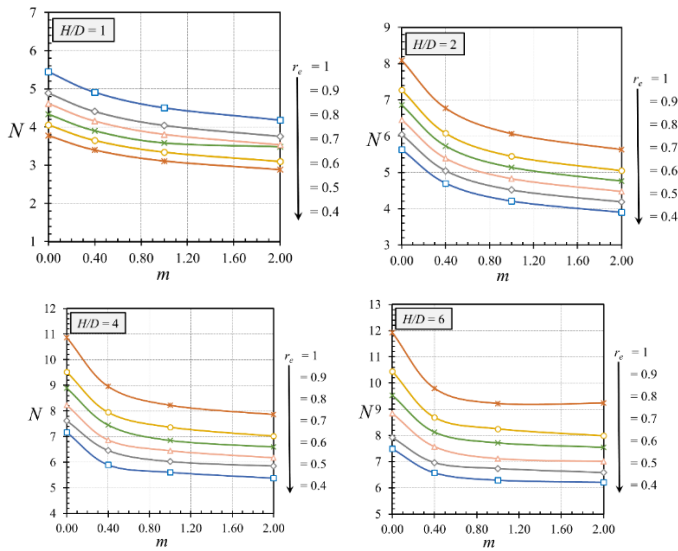
Ở Hình 11 thể hiện ảnh hưởng của thông số  $m$  (độ tăng sức chống cắt theo độ sâu) đến sức chịu tải của tấm neo. Kết quả cho thấy khi  $m$  càng lớn, hệ số sức chịu tải có xu hướng giảm. Lý do là hệ số  $m$  nằm dưới mẫu trong công thức số (1), nên khi  $m$  càng tăng thì hệ số sức chịu tải càng giảm. Tuy nhiên, lưu ý rằng giá trị sức chịu tải từ kết quả mô hình vẫn tăng. Kết quả phân tích ảnh hưởng của hệ số  $r_e$  (thể hiện sự không đẳng hướng của nền đất sét) đến hệ số sức chịu tải  $N$  được thể hiện trong Hình 12. Kết quả cho thấy rằng hệ số  $N$  có xu hướng tăng với sự tăng gia tăng của hệ số  $r_e$ . Hay nói cách khác, hệ số  $N$  có xu hướng giảm ứng với sự gia tăng tính không đẳng hướng của nền đất sét ( $r_e$  càng giảm, tính không đẳng hướng càng tăng). Tính không đẳng hướng càng tăng, sức kháng của nền đất càng giảm, dẫn đến hệ số sức chịu tải của giảm theo.

Bảng 1. Kết quả phân tích các trường hợp.

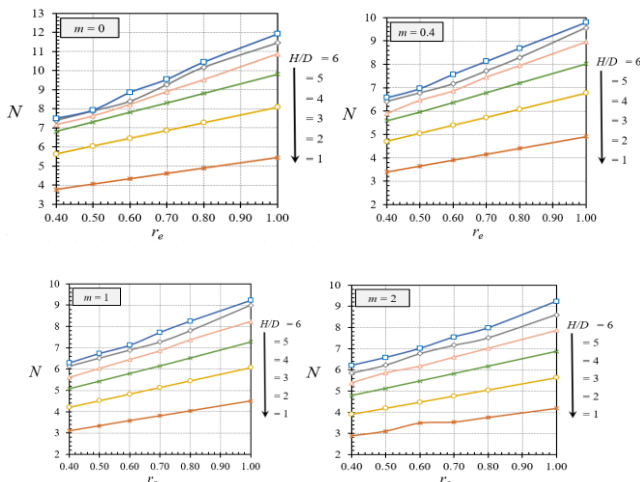
| $r_e$ | $m$ | $H/D$ |       |       |        |        |        |
|-------|-----|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
|       |     | 1     | 2     | 3     | 4      | 5      | 6      |
| 0,4   | 0   | 5,444 | 8,093 | 9,812 | 10,870 | 11,451 | 11,924 |
|       | 0,4 | 4,908 | 6,771 | 8,015 | 8,961  | 9,559  | 9,796  |
|       | 1   | 4,501 | 6,068 | 7,277 | 8,224  | 8,996  | 9,221  |
|       | 2   | 4,180 | 5,630 | 6,864 | 7,865  | 8,602  | 9,238  |
| 0,5   | 0   | 4,890 | 7,272 | 8,808 | 9,524  | 10,168 | 10,441 |
|       | 0,4 | 4,406 | 6,079 | 7,200 | 7,950  | 8,283  | 8,687  |
|       | 1   | 4,040 | 5,449 | 6,520 | 7,366  | 7,795  | 8,248  |
|       | 2   | 3,751 | 5,053 | 6,166 | 7,019  | 7,513  | 7,987  |
| 0,6   | 0   | 4,611 | 6,862 | 8,304 | 8,897  | 9,257  | 9,536  |
|       | 0,4 | 4,155 | 5,731 | 6,785 | 7,455  | 7,711  | 8,130  |
|       | 1   | 3,808 | 5,141 | 6,146 | 6,853  | 7,269  | 7,720  |
|       | 2   | 3,535 | 4,765 | 5,816 | 6,601  | 7,159  | 7,552  |
| 0,7   | 0   | 4,333 | 6,450 | 7,818 | 8,227  | 8,386  | 8,848  |
|       | 0,4 | 3,903 | 5,390 | 6,365 | 6,867  | 7,161  | 7,574  |
|       | 1   | 3,586 | 4,829 | 5,789 | 6,446  | 6,893  | 7,119  |
|       | 2   | 3,484 | 4,477 | 5,467 | 6,173  | 6,767  | 7,011  |
| 0,8   | 0   | 4,055 | 6,043 | 7,311 | 7,623  | 7,878  | 7,920  |
|       | 0,4 | 3,650 | 5,045 | 5,960 | 6,465  | 6,776  | 6,962  |
|       | 1   | 3,343 | 4,517 | 5,426 | 6,030  | 6,518  | 6,737  |
|       | 2   | 3,101 | 4,189 | 5,120 | 5,856  | 6,226  | 6,584  |
| 1     | 0   | 3,775 | 5,629 | 6,816 | 7,170  | 7,384  | 7,493  |
|       | 0,4 | 3,397 | 4,700 | 5,585 | 5,898  | 6,409  | 6,574  |
|       | 1   | 3,109 | 4,209 | 5,068 | 5,606  | 6,134  | 6,292  |
|       | 2   | 2,882 | 3,901 | 4,783 | 5,381  | 5,852  | 6,213  |



Hình 10. Ảnh hưởng của thông số  $H/D$  đến hệ số sức chịu tải  $N$ .



Hình 11. Ảnh hưởng của thông số  $m$  đến hệ số sức chịu tải  $N$ .



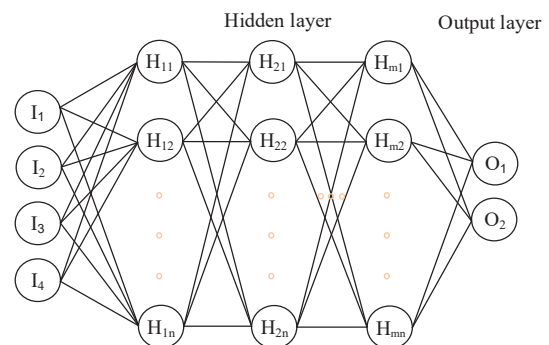
Hình 12. Ảnh hưởng của thông số  $r_e$  đến hệ số sức chịu tải.

**5. Đề xuất công thức xác định hệ số sức chịu tải bằng chương trình máy học dựa trên mô hình trí tuệ nhân tạo (Artificial neurons network – ANN)**

Trong phần này, bài báo sẽ sử dụng chương trình máy học sử dụng thuật toán trí tuệ nhân tạo (Artificial neurons network – ANN), để tìm được hàm tương quan giữa các thông số đầu vào phân tích ( $r_e, m, H/D$ ) và thông số đầu ra (hệ số sức chịu tải).

Mô hình ANN dựa trên một tập hợp các nút được kết nối được gọi là tế bào thần kinh nhân tạo (Artificial neurons – NNS) tương tự mô hình hóa các tế bào thần kinh trong não sinh học. Mỗi kết nối, giống như khớp thần kinh trong não sinh học, có thể truyền tín hiệu đến các tế bào thần kinh khác. Một tế bào thần kinh nhân tạo nhận một tín hiệu sau đó xử lý nó và có thể phát tín hiệu cho các tế bào thần kinh kết nối với nó. "Tín hiệu" tại một kết nối là một số thực và đầu ra của mỗi neuron được tính bằng một số hàm phi tuyến tính của tổng các đầu vào của

nó. Các kết nối được gọi là "Edges". Các NNS và các "Edges" thường có trọng lượng "Weight" được điều chỉnh khi quá trình học tập diễn ra. Trọng lượng làm tăng hoặc giảm cường độ của tín hiệu tại một kết nối. Tế bào thần kinh có thể có ngưỡng sao cho tín hiệu chỉ được gửi đi khi tín hiệu tổng hợp vượt qua ngưỡng đó. Thông thường, các tế bào thần kinh được tập hợp thành các lớp. Các lớp khác nhau có thể thực hiện các phép biến đổi khác nhau trên các đầu vào của chúng. Tín hiệu đi từ lớp đầu tiên (input layer), đến lớp cuối cùng (output layer), có thể sau khi đi qua các nhiều lớp khác (Hidden layer) [23]. Cấu trúc của một mô hình ANN được thể hiện ở Hình 13. Chi tiết hơn về mô hình ANN có thể tham khảo tại [24-27].

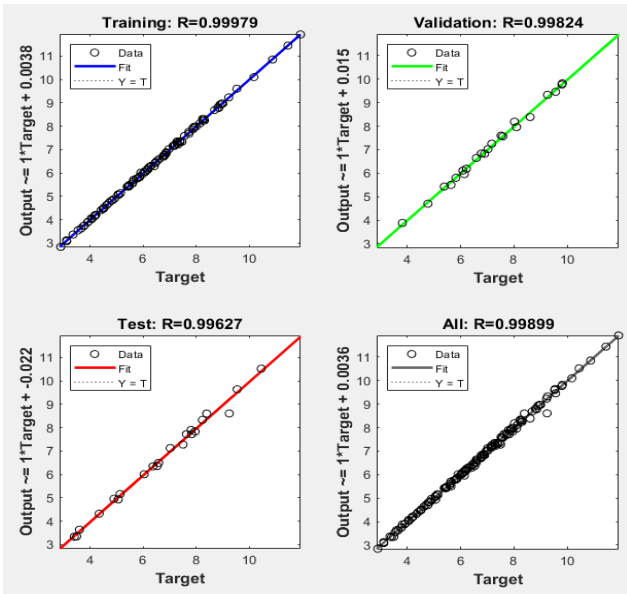


Hình 13. Cấu trúc của mô hình ANN.

Mô hình ANN đã được sử dụng trong các nghiên cứu về lĩnh vực địa kỹ thuật [24-28]. Trong bài báo này, 144 kết quả phân tích hệ số sức chịu tải  $N$  của tám neo trong nền sét không đồng nhất không đẳng hướng tương ứng với 144 bộ thông số đầu vào ( $r_e, m, H/D$ ) được thể hiện ở Bảng 1 sẽ được sử dụng là dữ liệu phục vụ cho mô hình ANN.

Cấu trúc mô hình ANN tương ứng được sử dụng trong nghiên cứu này là 3-10-1 (tương ứng là 3 NNS ở input layer, 10 NNS ở hidden layer và 1 NN ở output layer). 3 NNS ở input layer tương đương với 3 thông số đầu vào ( $r_e, m, H/D$ ) và 1 NN ở output layer tương ứng với thông số đầu ra  $N$ . Trong quá trình mô hình ANN, dựa trên các nghiên cứu trước đây về sử dụng mô hình ANN [24-28] 144 bộ thông số đầu vào sẽ được chia thành 70% cho "Training data", 15% cho "Validation data", 15% cho "Testing data" và thuật toán được dùng để áp dụng trong mô hình ANN đề xuất là Levenberg-Marquardt

Kết quả phân tích bằng mô hình ANN được thể hiện ở Hình 14 và Bảng 2. Trong đó, Hình 14 thể hiện tương quan kết quả giữa dự đoán và mong muốn và Bảng 2 thể hiện trọng lượng "Weight" và "Bias" của các neuron sau quá trình phân tích. Từ Hình 14, có thể thấy rằng, mô hình ANN đề xuất cho kết quả khả quan với hệ số  $R^2$  của 70% dữ liệu "Training", 15% dữ liệu Validation, 15% dữ liệu "Testing" và 100% dữ liệu lần lượt là 99,979%; 99,824%; 99, 627%; 99,899%. Điều này có ý nghĩa là mô hình ANN đề xuất để dự đoán thông số đầu ra cho kết quả rất sát với kết quả tính toán từ mô hình Plaxis. Do đó, hoàn toàn có thể sử dụng mô hình này trong dự đoán sức chịu tải nhỏ của tám neo trong nền sét không đồng nhất không đẳng hướng với với khoảng thay đổi của thông số như bài toán phân tích bằng Plaxis đã đề cập trước đó.

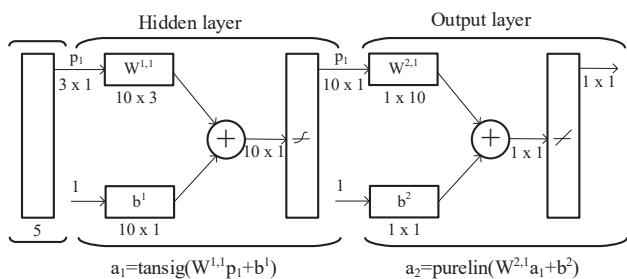


Hình 14. Kết quả phân tích dữ liệu của mô hình ANN được dùng trong nghiên cứu này.

Với giá trị “Weight” và “Bias” của các neuron, chúng ta có thể xác lập được công thức tính toán giá trị sức chịu tải  $N$  của tấm neo trong nền sét không đồng nhất không đẳng hướng dựa trên mô hình công thức ở Hình 15. Chi tiết về việc thực hiện công thức tính toán ở Hình 15 có thể tham thêm trong tài liệu [28, 29]

Bảng 2. Weight và Bias của các neuron.

| Neuron | $W^{12}$         |         |         | $b^{12}$ | $W^{23}$ | $b^{23}$ |        |
|--------|------------------|---------|---------|----------|----------|----------|--------|
|        | Thông số đầu vào |         |         |          |          |          | Đầu ra |
|        | $H/D$            | $m$     | $r_e$   |          |          |          |        |
| 1      | 2.1668           | -1.4075 | -0.0613 | -2.2844  | 0.0331   | -0.6255  |        |
| 2      | 0.1162           | -0.0992 | -0.8403 | -0.7398  | -2.5198  |          |        |
| 3      | -0.1740          | 0.5111  | 0.9923  | 0.7734   | -1.4878  |          |        |
| 4      | 0.8367           | 0.2463  | 0.7560  | -0.8879  | 0.2273   |          |        |
| 5      | -0.1336          | 4.5257  | 0.4487  | -0.0352  | 0.2965   |          |        |
| 6      | -2.7436          | -2.3613 | 0.9464  | 0.1178   | -0.0065  |          |        |
| 7      | -0.3060          | 0.7342  | 0.9107  | -0.6267  | -0.4549  |          |        |
| 8      | 0.3464           | 1.3844  | -0.3638 | 1.6482   | -1.5372  |          |        |
| 9      | 0.6466           | 0.7240  | -0.0524 | 0.4626   | 0.3426   |          |        |
| 10     | 0.5815           | 1.7925  | -0.1852 | 2.2454   | 1.0722   |          |        |



Hình 15. Thuật toán dự đoán đầu ra từ Weight và Bias của các neuron.

## 6. Kết luận

Bài báo phân tích sức chịu tải nhỏ của tấm neo trong nền sét không đồng nhất, không đẳng hướng bằng mô hình NGI-ADP với sự trợ giúp của phần mềm Plaxis 2D V2020. Bên cạnh đó, việc áp dụng mô hình ANN trong dự đoán kết quả sức chịu tải dựa trên dữ liệu đầu vào và đầu ra của kết quả phân tích bằng Plaxis cũng được thực hiện. Một số kết luận được rút ra như sau:

- Hệ số sức chịu tải của tấm neo trong nền sét không đồng nhất, không đẳng hướng tăng khi chiều sâu đặt tấm neo tăng ( $H/D$  tăng) và giảm khi hệ số thể hiện tính không đẳng hướng của nền sét giảm ( $r_e$  giảm). Hệ số sức chịu tải cũng giảm khi hệ số thể hiện tính không đồng nhất của nền sét tăng ( $m$ ), tuy nhiên giá trị sức chịu tải nhỏ vẫn tăng theo sự tăng của hệ số  $m$
- Bằng việc thể hiện các hình vẽ dưới dạng sơ đồ, và bảng biểu, kết quả xác định sức chịu tải của tấm neo trong nền sét không đồng nhất, không đẳng hướng có thể được thực hiện nhanh chóng
- Bằng việc áp dụng mô hình ANN với cấu trúc 3-10-1 neurons có thể cho kết quả dự đoán sức chịu tải của tấm neo trong nền sét không đồng nhất, không đẳng hướng một cách nhanh chóng mà không cần phải mô hình tính toán lại.
- Các kết quả từ mô hình ANN cho kết quả dự đoán sức chịu tải của tấm neo trong nền sét không đồng nhất, không đẳng hướng tương đồng với kết quả từ mô phỏng Plaxis.

## Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM trong khuôn khổ đề tài nghiên cứu sinh viên thuộc chương trình Kỹ Sư Tài Năng

## Tài liệu tham khảo

- [1]. Merifield, R.S., Sloan, S.W., Yu, H.S.: Stability of plate anchors in undrained clay. Geotechnique 51(2), 141–153, 2001.
- [2]. Khatri, V.N., Kumar, J.: Vertical uplift resistance of circular plate anchors in clays under undrained condition. Comput. Geotech. 36(8), 1352–1359 2009.
- [3]. Pandey, A., & Chauhan, V. B. Evaluation of pull-out capacity of helical anchors in clay using finite element analysis. In Geo-Congress 2020: Modeling, Geomaterials, and Site Characterization (pp. 60-68). Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2020
- [4]. Lai, Ying, Bin Zhu, Yunhan Huang, and Chuan Chen. "Behaviors of drag embedment anchor in layered clay profiles." Applied Ocean Research 101, 2020, 102287.
- [5]. Xiao, Z., Fu, D., Zhou, Z., Lu, Y., & Yan, Y. Effects of strain softening on the penetration resistance of offshore bucket foundation in nonhomogeneous clay. Ocean Engineering, 193, 2019, 106594.
- [6]. Keawsawasvong, S., & Ukritchon, B. Design equation for stability of a circular tunnel in anisotropic and heterogeneous clay. Underground Space, 7(1), 76-93, 2022.
- [7]. Ouahab, M. Y., Mabrouki, A., Frank, R., Mellas, M., & Benmeddour, D. Undrained bearing capacity of strip footings under inclined load on non-

- homogeneous clay underlain by a rough rigid base. *Geotechnical and Geological Engineering*, 38(2), 1733-1745, 2020
- [8]. Li, Sen, Jian Yu, Maosong Huang, and C. F. Leung. "Upper bound analysis of rectangular surface footings on clay with linearly increasing strength." *Computers and Geotechnics* 129, 2021, 103896.
- [9]. Ukritchon, B., Keawsawasvong, S.: Lower bound limit analysis of an anisotropic undrained strength criterion using second-order cone programming. *Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech.* 42(8), 1016–1033, 2018.
- [10]. Casagrande, A., Carillo, N.: Shear failure of anisotropic soils. *Contributions to Soil Mechanics (BSCE) 1941–1953*, 122–135, 1944
- [11]. Ladd CC, DeGroot DJ.: Recommended practice for soft ground site characterization, Arthur Casagrande Lecture. In *Proceedings of the 12th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Cambridge, (2003)
- [12]. Krabbenhoft, K., Galindo-Torres, S.A., Zhang, X., Krabbenhøft, J.: AUS: anisotropic undrained shear strength model for clays. *Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech.* 43(17), 2652–2666, 2019.
- [13]. Yang, X.L., Du, D.C.: Upper bound analysis for bearing capacity of nonhomogeneous and anisotropic clay foundation. *KSCE J. Civ. Eng.* 20(7), 2702–2710 (2016)
- [14]. Van Qui Lai; Banyong Rungkhun, and Suraparb Keawsawasvong. "Stability of Limiting Pressure Behind Soil Gaps in Contiguous Pile Walls in Anisotropic Clays." *Engineering Failure Analysis* (2022): 106049..
- [15]. Grimstad, G., Andresen, L., & Jostad, H. P. NGI-ADP: Anisotropic shear strength model for clay. *International journal for numerical and analytical methods in geomechanics*, 36(4), 483-497, 2012
- [16]. Asim, Taimoor, Sheikh Zahidul Islam, Arman Hemmati, and Muhammad Saif Ullah Khalid. "A Review of Recent Advancements in Offshore Wind Turbine Technology." *Energies* 15, no. 2 (2022): 579.
- [17]. Design and installation of drag anchors and plate anchors, American Bureau Of Shipping
- [18]. Zhang, Wengang, Runhong Zhang, Chongzhi Wu, Anthony TC Goh, and Lin Wang. "Assessment of basal heave stability for braced excavations in anisotropic clay using extreme gradient boosting and random forest regression." *Underground Space* (2020).
- [19]. Zhang, Runhong, Chongzhi Wu, Anthony TC Goh, Thomas Böhlke, and Wengang Zhang. "Estimation of diaphragm wall deflections for deep braced excavation in anisotropic clays using ensemble learning." *Geoscience Frontiers* 12, no. 1 (2021): 365-373.
- [20]. Li, Yongqin, and Wengang Zhang. "Investigation on passive pile responses subject to adjacent tunnelling in anisotropic clay." *Computers and Geotechnics* 127 (2020): 103782.
- [21]. Keawsawasvong, Suraparb. "Bearing capacity of conical footings on clays considering combined effects of anisotropy and non-homogeneity." *Ships and Offshore Structures* (2021): 1-12.
- [22]. Lai, Van Qui, Dang Khoa Nguyen, Rungkhun Banyong, and Suraparb Keawsawasvong. "Limit analysis solutions for stability factor of unsupported conical slopes in clays with heterogeneity and anisotropy." *International Journal of Computational Materials Science and Engineering* (2021): 2150030.
- [23]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial\\_neural\\_network](https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_neural_network)
- [24]. Juwaied, Nabeel S. "Applications of artificial intelligence in geotechnical engineering." *ARPN J Eng Appl Sci* 13, no. 8, 2018: 2764-2785.
- [25]. Pirnia, Pouyan, François Duhaime, and Javad Manashti. "Machine learning algorithms for applications in geotechnical engineering." In *Proc. GeoEdmonton*, pp. 1-37. 2018.
- [26]. British Standards Institution. Pirnia, P., Duhaime, F. and Manashti, J., 2018, September. Machine learning algorithms for applications in geotechnical engineering. In *Proc. GeoEdmonton* (pp. 1-37), 2018
- [27]. Mishra, Pratishta, and Pijush Samui. "Reliability Analysis of Retaining Wall Using Artificial Neural Network (ANN) and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)." In *Proceedings of the Indian Geotechnical Conference 2019*, pp. 543-557. Springer, Singapore, 2021.
- [28]. Khajehzadeh, Mohammad, Suraparb Keawsawasvong, and Moncef L. Nehdi. "Effective hybrid soft computing approach for optimum design of shallow foundations." *Sustainability* 14, no. 3 (2022): 1847.
- [29]. Keawsawasvong, S., S. Seehavong, and C. Ngamkhanong. "Application of Artificial Neural Networks for Predicting the Stability of Rectangular Tunnels in Hoek–Brown Rock Masses. *Front.*" *Built Environ* 8 (2022): 837745.