

Khảo sát sự ảnh hưởng của các tham số công nghệ, kỹ thuật đến lún trên bề mặt khi thi công hầm trong đất bằng phương pháp kích đẩy

Surveying the effect of technological and technical parameters on surface settlement when tunnelling in soil by box jacking technique

> ĐINH VIỆT THANH¹, NGUYỄN XUÂN BÀNG¹, PHẠM ĐỨC TIẾP¹, DƯƠNG TRƯỜNG XUÂN²

¹ Viện Kỹ thuật công trình đặc biệt – Học viện Kỹ thuật Quân sự

² Binh chủng Công binh

TÓM TẮT

Khi thi công hầm bằng phương pháp kích đẩy sẽ gây nên hiện tượng lún trên bề mặt. Một trong những yếu tố ảnh hưởng đến hiện tượng lún trên bề mặt là các tham số công nghệ và kỹ thuật như lực kích, kích thước hình học, chiều sâu đặt hầm. Bài báo nghiên cứu sự ảnh hưởng của các tham số trên đến lún trên bề mặt bằng phương pháp phần tử hữu hạn (phần mềm Plaxis 3D Tunnel). Từ các kết quả khảo sát cho phép đưa ra được các đánh giá về mức độ ảnh hưởng của từng tham số khảo sát đến lún trên bề mặt cũng như có thể đưa ra các khuyến nghị nhằm đảm bảo an toàn cho quá trình thi công hầm và các công trình trên bề mặt đất.

Từ khóa: lực kích, hầm, lún bề mặt, máng lún, chiều sâu đặt hầm, kích thước hình học, PTHH, Plaxis 3D Tunnel.

ABSTRACT

When tunneling by box jacking technique, it will cause surface settlement on the surface. One of the factors affecting surface settlement is technological and technical parameters such as jacking force, geometrical dimensions, and tunneling depth. The paper studies the influence of the above parameters on the surface settlement by finite element method (Plaxis 3D Tunnel software). From the survey results, it is possible to make an assessment of the influence of each survey parameter on the surface settlement as well as to make recommendations to ensure the safety of the tunnel construction process and the works on the ground surface.

Keywords: jacking force, tunnel, surface settlement, settlement troughs, tunneling depth, geometrical dimensions, FEM, Plaxis 3D Tunnel.

1. MỞ ĐẦU

Hiện nay trên thế giới cũng như ở Việt Nam, việc xây dựng các đường hầm bộ hành qua đường giao thông, đường sắt ở các đô thị lớn; xây dựng các đường ống tuynen kỹ thuật đô thị, các đường ống cấp thoát nước rất phổ biến. Do phụ thuộc vào nhiều yếu tố nên việc thiết kế tuyến các đường hầm trên thường khó tránh khỏi việc đi qua hoặc đi rất gần hoặc đi trực tiếp dưới nhà, đường trục ô tô, đường sắt hay đê đập, sông ngòi, v.v. Để thi công các tuyến hầm này có thể sử dụng phương pháp đào hở, đối với kỹ thuật này đòi hỏi khối lượng đào đắp lớn, phá vỡ cảnh quan xung quanh khu vực xây dựng, ảnh hưởng rất lớn đến các hoạt động trên bề mặt. Vì vậy đối với những dạng công trình này thường sử dụng phương pháp đào kín. Kỹ thuật đào kín thường rất hiệu quả khi xây dựng các công trình ngầm đô thị đặt sâu, đặc biệt là khi xây dựng các công trình ngầm có mặt cắt ngang tròn hoặc hình chữ nhật. Việc lựa chọn công nghệ thi công đối với kỹ thuật đào kín phụ thuộc vào chiều dài tuyến, kích thước mặt cắt ngang của hầm, độ sâu đặt hầm.... Đối với các loại hầm có tiết diện nhỏ, dạng tuyến ngắn, thường sử dụng các công nghệ như kích đẩy ống Pipe Jacking, Box Jacking hoặc Microtunnelling.

Cũng như các kỹ thuật đào kín khác, quá trình thi công hầm bằng phương pháp kích đẩy gây nên hiện tượng lún trên bề mặt. Một trong những yếu tố ảnh hưởng đến hiện tượng lún trên bề mặt là các tham số công nghệ và kỹ thuật như lực kích, kích thước hình học, chiều sâu đặt hầm, hao hụt thể tích, điều kiện địa chất... Bài báo này khảo sát sự ảnh hưởng của lực kích, kích thước hình học và chiều sâu đặt hầm đến lún trên bề mặt bằng phương pháp phần tử hữu hạn (phần mềm Plaxis 3D Tunnel) khi thi công hầm bằng phương pháp kích đẩy trong đất với tiết diện của hầm có hình dạng chữ nhật. Điều này cho phép đánh giá mức độ ảnh hưởng của từng tham số khảo sát đến lún trên bề mặt và có thể đề xuất các biện pháp gia cố làm giảm thiểu khả năng gây lún nhằm đảm bảo an toàn cho quá trình thi công hầm và các công trình trên bề mặt đất.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Xác định lực kích cần thiết

Khi thi công hầm bằng phương pháp kích đẩy thì lực kích cần lớn hơn tổng các lực cần thiết như: sức kháng ban đầu P_0 , lực ma

sát của đất, tổn thất ma sát trong các phần tử của đất, lực cản ma sát do áp suất tĩnh của đường ống trên mặt đất, sự kết dính giữa vỏ hầm và đất đá xung quanh. Các sức kháng này có thể thay đổi tùy thuộc vào các yếu tố công nghệ, nghệ thuật, địa chất, độ sâu của hầm và phương pháp kích [1, 2].

Tổng lực kích: là lực yêu cầu để đẩy ống về phía trước, nó phải lớn hơn sức kháng ma sát mặt ngoài thành ống với đất nền và sức kháng mặt tại gương đào (áp lực tại gương đào). Nó thay đổi và phụ thuộc vào các yếu tố: chiều dài và đường kính ngoài của ống được kích; trọng lượng của ống; chiều sâu đặt ống, sự thay đổi các thông số địa kỹ thuật trong vùng ống khoan kích ngầm đi qua; lực tác dụng lên khiên hoặc máy đào; quá trình thao tác kích là liên tục hay gián đoạn; việc bôi trơn bên ngoài đường ống kích...[1, 2]

Tổng lực kích P (kN) được xác định theo công thức:

$$P = P_0 + P_j \quad (1)$$

trong đó:

P_0 là sức kháng ban đầu, kN;

P_j là lực cản ma sát và lực dính bám dọc theo mặt bên của đường ống, kN;

$$P_0 = (P_w + P_e) B.H \quad (2)$$

trong đó:

P_w là áp suất bên trong buồng, kN/m²;

P_e : lực cắt của dao, cụ thể: đối với đất: 150 kN/m²; đối với sỏi cho phép đến 300 kN/m²;

B, H là chiều rộng và chiều cao hầm.

$$P_w = P_z + 20 \quad (3)$$

Với P_z là áp lực ngang của khối đất trên mặt, kN/m², có thể coi là thành phần nằm ngang của áp lực đất đá có tính đến khả năng hình thành vòm áp lực tại hệ số nở hông $\lambda = 0,5$, có tính đến tải trọng tạm thời và tác dụng cân bằng của nước ngầm;

$$P_j = f_0 L \quad (4)$$

Ở đây: L - chiều dài ống kích, m;

f_0 - lực cản ma sát xung quanh ống, kN/m;

$$f_0 = \beta [2(B+H)q + w]\mu' + 2(B+H)c' \quad (5)$$

trong đó: β là hệ số giảm kích, phụ thuộc vào vật liệu hoặc đất tiếp xúc với bề mặt ngoài của ống, bằng:

0,15 - đối với dung dịch bentonite;

0,35 - đối với đất phù sa và bùn;

0,45 - đối với đất cát;

0,60 - đối với đất sỏi và cát sỏi;

0,75 - đối với nền đất rắn.

q : tải trọng phân bố đều trên ống, kN/m²;

w : khối lượng trên chiều dài ống, kN/m;

μ' : hệ số ma sát giữa ống với đất;

c' : là độ dính của ống với đất, kN/m².

2.2. Cơ sở lý thuyết dự đoán độ lún trên bề mặt khi xây dựng hầm bằng phương pháp kích đẩy

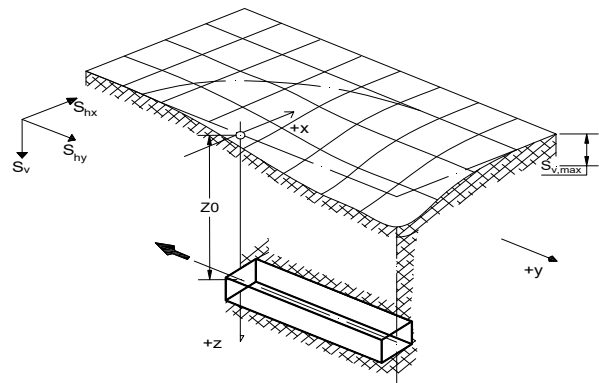
Hiện nay có hai hướng để dự đoán lún trên bề mặt khi xây dựng hầm trong đất bằng phương pháp kích đẩy. Hướng thứ nhất là các phương pháp giải tích, phương pháp thực nghiệm, phương pháp bán thực nghiệm. Hướng thứ hai là phương pháp số giải bài toán địa kỹ thuật, mà trong đó phương pháp phần tử hữu hạn là phổ biến nhất [3, 5, 8].

Theo Attewell và Woodman [6] thì máng lún trên bề mặt (hình 1) được hình thành khi đào một đường hầm đơn trong đất đồng nhất có thể được miêu tả như sau:

$$S = \frac{V_s}{\sqrt{2\pi i_x}} e^{-\frac{x^2}{2i_x^2}} \left[G\left(\frac{y-y_i}{i_x}\right) - G\left(\frac{y-y_f}{i_x}\right) \right] \quad (6)$$

trong đó: S - Lún trên bề mặt đất tại điểm có tọa độ (x, y) ; x - khoảng cách từ điểm được xem xét đến trục dọc của đường hầm; y - tọa độ của điểm dọc theo trục hầm; V_s - thể tích thực của máng lún trên bề mặt đất; y_i - vị trí ban đầu của hầm; y_f - vị trí đỉnh gương hầm; i_x - chiều rộng máng lún; Z - chiều sâu đặt hầm; G - hàm phân phối được xác định theo công thức:

$$G = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\alpha} e^{-\frac{\alpha^2}{2}} d\alpha; \alpha = \frac{y-y_i}{i_x} \quad (7)$$



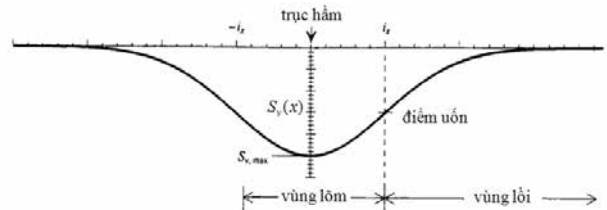
Hình 1. Hình dạng máng lún trên bề mặt khi xây dựng hầm

Theo Peck R.B. [8], máng lún trên bề mặt theo phương ngang có thể được miêu tả theo dạng hàm số Gauss theo công thức sau:

$$S_v(x) = S_{v,max} e^{-\frac{x^2}{2i_x^2}} \quad (8)$$

trong đó: $S_v(x)$ - giá trị lún trên bề mặt đất; $S_{v,max}$ - giá trị lún

bề mặt lớn nhất trên trục hầm; x - khoảng cách từ tâm hầm đến điểm tính lún.



Hình 2. Máng lún trên bề mặt đất theo phương ngang

Đặc trưng điển hình của máng lún được chỉ ra trên hình 2. Độ dốc tối đa của máng lún nằm ở điểm uốn, điểm uốn này cách trục hầm 1 khoảng cách i_x . Điểm uốn dùng để xác định các tiêu chuẩn biến dạng của tòa nhà trên bề mặt đất. Điểm uốn phân chia vùng lõm xuống và vùng lồi lên của đường cong máng lún (hình 2).

Theo O'Reilly & New (1982) [6] đã đề xuất cách tính tham số chiều rộng máng lún i_x theo công thức thực nghiệm:

$$i_x = kZ_0 \quad (9)$$

$$i_x = 0,43Z_0 + 1,1 \quad (10)$$

$$i_x = 0,28Z_0 - 0,1 \quad (11)$$

trong đó: k - là hệ số không thứ nguyên đặc trưng cho các loại đất; Z_0 - Chiều sâu đặt hầm (tính từ mặt đất đến tim hầm). Các tác

giả đã chỉ ra rằng hệ số k có thể thay đổi từ 0,7-0,4 tương ứng từ đất sét mềm đến sét cứng.

Theo Moh at al. (1996), đối với hầm có tiết diện tròn thì i_x được xác định theo công thức sau:

$$i_x = \frac{D}{2} \left(\frac{Z_0}{D} \right)^{0,8} \left(\frac{Z_0 - Z}{Z_0} \right)^m \quad (12)$$

trong đó: m=0,4 đối với cát bùn và m=0,8 đối với sét; D – đường kính hầm; Z – độ sâu tính từ mặt đất của điểm tính lún.

Theo Bilotta và Russo (2012) trên cơ sở công thức của Moh et al. (1996) đã đề xuất, đối với tuyến số 1 của tàu điện ngầm Naples thì i_x được xác định theo công thức sau:

$$i_x = 0,8 \left(\frac{Z_0 - Z}{D} \right)^{0,2} \quad (13)$$

Giá trị lún lớn nhất trên bề mặt đối với hầm hình chữ nhật được vận dụng theo công thức của O'Reilly & New đối với hầm tiết diện chữ nhật:

$$S_{v,max} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{V_l \cdot B \cdot H}{i_x} \quad (14)$$

Hoặc vận dụng từ công thức của Herzog (1985):

$$S_{v,max} = (\gamma Z_0 + P_s) \frac{B \cdot H}{E i_x} \quad (15)$$

trong đó: E – Mô đun đàn hồi trung bình của các lớp đất; P_s – tải trọng tác dụng trên bề mặt; B – chiều rộng hầm; H – chiều cao hầm; V_l – mất mát thể tích (volume loss), là một trong những tham số quan trọng để xác định độ lún trên bề mặt do đào hầm gây ra. Đối với việc thi công hầm bằng phương pháp kích đẩy thì V_l có thể được gây ra bởi 3 thành phần chính: mất mát thể tích tại gương hầm (V_f); mất mát thể tích xung quanh hầm (V_s); mất mát thể tích tại đuôi hầm (đuôi khiên) (V_i).

V_l được xác định bằng tỷ số giữa thể tích của máng lún trên bề mặt chia cho thể tích của hầm tính trên một đơn vị chiều dài.

$$V_l = \frac{V_s}{B \cdot H} \quad (16)$$

trong đó: V_s – Thể tích máng lún trên bề mặt tính trên một đơn vị chiều dài và được tính theo công thức [7]:

$$V_s = \int_{-\infty}^{+\infty} S(x) dx = \sqrt{2\pi} i_x S_{max} \quad (17)$$

Theo Peck (1969) thì V_l có thể xác định như sau:

$$V_l = \sqrt{2\pi} \frac{i_x S_{max}}{B \cdot H} \quad (18)$$

Theo Attewell (1977) thì V_l nằm trong khoảng 1%-5% và theo O'Reilly & New (1982) thì V_l nằm trong khoảng 0,5%-3% [9].

Tính đến công thức (14) ta có thể viết lại công thức (8) để tính lún trên bề mặt theo công thức sau:

$$S_v(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{V_l B \cdot H}{i_x} e^{-\frac{x^2}{2i_x^2}} \quad (19)$$

Từ công thức (19) ta thấy rằng với kích thước hầm không thay đổi thì lún trên bề mặt chỉ phụ thuộc vào mất mát thể tích V_l và chiều rộng máng lún i_x .

3. MÔ HÌNH PTHH XÁC ĐỊNH ĐỘ LÚN MẶT ĐẤT DO THI CÔNG HẦM BẰNG PHƯƠNG PHÁP KÍCH ĐẨY

Trong bài báo này nhóm tác giả sử dụng phương pháp PTHH

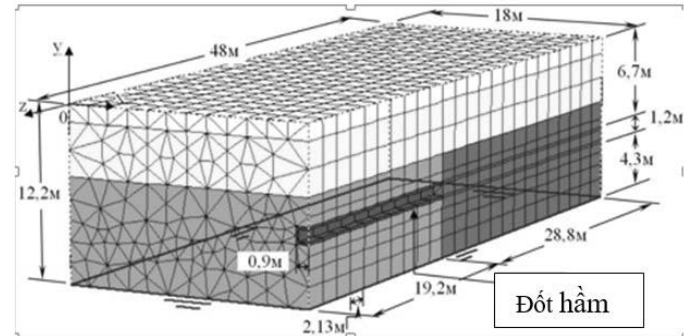
(Plaxis 3D Tunnel) để mô hình hóa quá trình thi công hầm bằng phương pháp kích đẩy với hệ "hầm-khối đất". Để đánh giá mức độ tin cậy của mô hình tính trên ta sử dụng các số liệu đầu vào từ dự án xây dựng đường hầm Vernon ở Texas - Mỹ với các thông số cụ thể: chiều dài kích đẩy 70m; tiết diện hầm có dạng hình chữ nhật 1,8x1,2m; vỏ hầm dày 0,25m; hầm được đặt ở độ sâu 6,7m trong đất có các thông số như bảng 1 [4, 10].

Bảng 1: Đặc trưng cơ lý của các lớp đất

Lớp đất	h, m	γ (kN/m ³)	E_0 (kN/m ²)	ν	c, (kN/m ²)	ϕ , độ
Lớp 1	1,2	20	16800	0,35	23	38
Lớp 2	3,6	19	80000	0,3	64	30
Lớp 3	7,4	17,5	19500	0,35	12	34

Trong đó: Lớp 1 – cát sạch; Lớp 2 – đất cát; Lớp 3 – cát phù sa; h - chiều dày lớp đất; γ – khối lượng riêng; E_0 – mô đun biến dạng; ν – hệ số Poisson; c – lực dính; ϕ – góc ma sát trong

Mô hình lưới phần tử hữu hạn của hệ "hầm-khối đất" trong phần mềm Plaxis 3D Tunnel được thể hiện trên hình 3.



Hình 3. Mô hình lưới phần tử hữu hạn hệ "hầm-khối đất"

Qua tính toán độ lún trên bề mặt bằng phần mềm Plaxis 3D Tunnel, ta có bảng so sánh kết quả giữa phương pháp PTHH và kết quả quan trắc như bảng 2.

Bảng 2: Độ lún lớn nhất khi sử dụng chương trình Plaxis 3D và số liệu quan trắc

Khoảng cách từ mặt đất (m)	Độ lún dọc trục hầm lớn nhất (mm)		Chênh lệch (%)
	Plaxis 3D	Quan trắc	
0	9,455	10,0	5,5
5,2	12,93	13,2	2,1

Từ kết quả ở bảng 2 cho thấy sai số về độ lún lớn nhất tại vị trí trên bề mặt và vị trí cách bề mặt 5,2m không quá 5,5%. Như vậy, có thể khẳng định mô hình phần tử hữu hạn "hầm – khối đất" là khá tin cậy và có thể sử dụng để khảo sát sự ảnh hưởng của lực kích, kích thước hình học và chiều sâu đặt hầm đến lún trên bề mặt khi thi công hầm bằng phương pháp kích đẩy.

4. KHẢO SÁT SỰ ẢNH HƯỞNG CỦA LỰC KÍCH, KÍCH THƯỚC HÌNH HỌC VÀ CHIỀU SÂU ĐẶT HẦM ĐẾN LÚN TRÊN BỀ MẶT BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

4.1. Các tham số đầu vào

Để khảo sát sự ảnh hưởng của lực kích, kích thước hình học và chiều sâu đặt hầm đến lún trên bề mặt ta sử dụng phương pháp PTHH (phần mềm Plaxis 3D Tunnel) với các đặc trưng cơ lý của đất nền, đặc trưng vật liệu và các tham số khảo sát (lực kích, kích thước hình học và chiều sâu đặt hầm) như sau:

Đặc trưng cơ lý của đất nền:

Để thuận lợi cho so sánh các kết quả trong trường hợp thay đổi chiều sâu đặt hầm, ta tiến hành khảo sát các bài toán với điều kiện

địa chất là đồng nhất, cụ thể đặc trưng cơ lý của đất nền được thể hiện trên bảng 3.

Bảng 3. Đặc trưng cơ lý của đất nền

Chiều dày lớp đất (m)	Dung trọng bão hòa (kN/m ³) γ _{sat}	Dung trọng tự nhiên (kN/m ³) γ _{unsat}	Mô đun đàn hồi dạng (kN/m ²) E ₀	Hệ số Poisson u	Lực dính c (kN/m ²)	Góc ma sát trong φ (độ)	Hệ số R _{inter}
36	17,8	16,8	10800	0,35	30	12	0,8

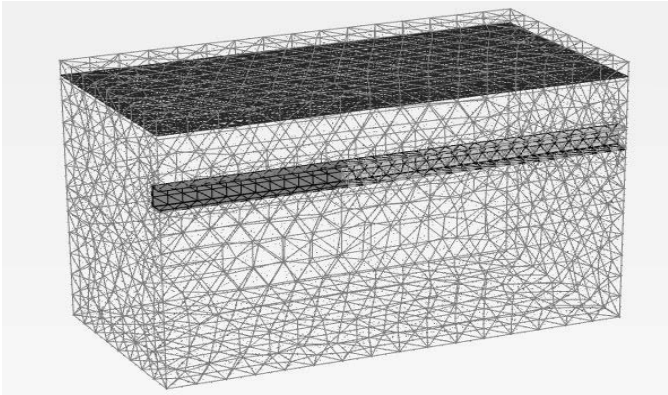
Các tham số của vỏ hầm:
Vỏ hầm làm bằng vật liệu bê tông cốt thép: trọng lượng riêng γ_{bt} = 24 kN/m²; Mô đun đàn hồi E₀ = 3,1.10⁷ kN/m²; Hệ số Poisson u=0,2. Đối với các bài toán thay đổi lực kích và chiều sâu đặt hầm, hầm có tiết diện hình chữ nhật với kích thước rộng 3,6m; cao 3m và chiều dày vỏ là 0,25m. Hầm được đặt ở độ sâu -9m tính từ mặt đất đến nóc hầm; mực nước ngầm là -2,5m; chiều dài mỗi đốt hầm là 1,5m.

Các tham số khảo sát: được thể hiện trên bảng 4.

Bảng 4. Các tham số khảo sát

TT	Tên gọi	Ký hiệu	Đơn vị	Ghi chú
1	Kích thước đường hầm	B _T x H _T	m	1,8x1,2; 3,6x3; 5x4,5; 8x6
2	Chiều sâu đặt hầm	H ₁	m	3; 5; 7; 9; 11
3	Lực kích	N _i	kN	N _i = k _i (P ₁ + P ₂); i=1÷7 k _i – hệ số lực kích

Do đường hầm có kích thước đối xứng, nên để đơn giản hoá trong quá trình tính toán mà vẫn thể hiện được các quá trình thi công, ta xây dựng kích thước mô hình của bài toán ở dạng đối xứng với kích thước cụ thể của mô hình là 25x50x36m (hình 4).

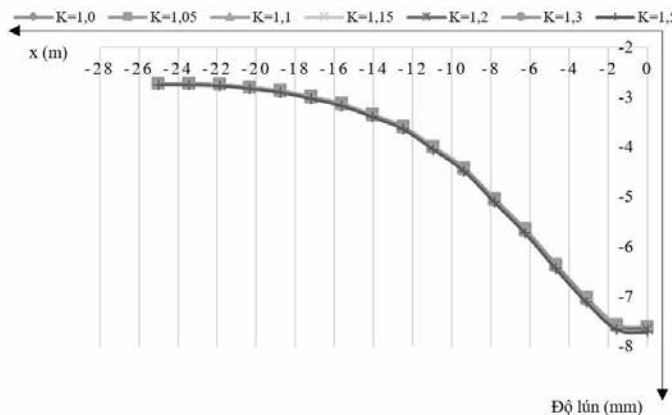


Hình 4. Mô hình bài toán khảo sát

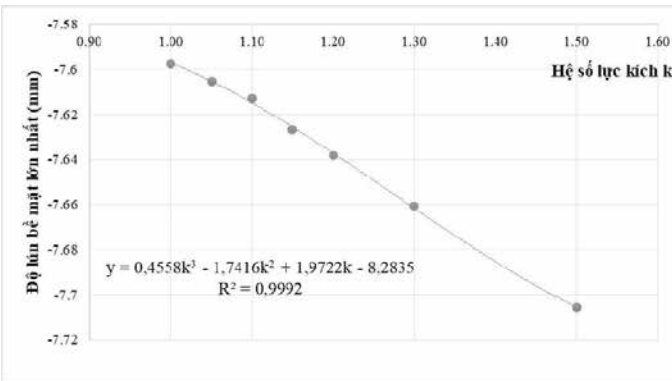
3.2. Thử nghiệm số
Ảnh hưởng của lực kích

Tiến hành khảo sát sự thay đổi của lực kích thông qua sự thay đổi của hệ số lực kích k_i = 1; 1,05; 1,1; 1,15; 1,2; 1,3; 1,5. Kết quả hình dạng máng lún khi thay đổi lực kích; sự phụ thuộc của độ lún lớn

nhất trên bề mặt vào hệ số lực kích được thể hiện trên hình 5 và hình 6.



Hình 4. Hình dạng máng lún khi thay đổi hệ số lực kích



Hình 6. Sự phụ thuộc độ của lún lớn nhất trên bề mặt vào hệ số lực kích

Đặc trưng máng lún trên bề mặt (hình 5) được xấp xỉ theo hàm Gauss (Theo Peck R.B. [8]) với độ chính xác cao và được thể hiện trên bảng 6.

Bảng 6. Hàm Gauss thể hiện đường cong máng lún trên bề mặt khi thay đổi hệ số lực kích

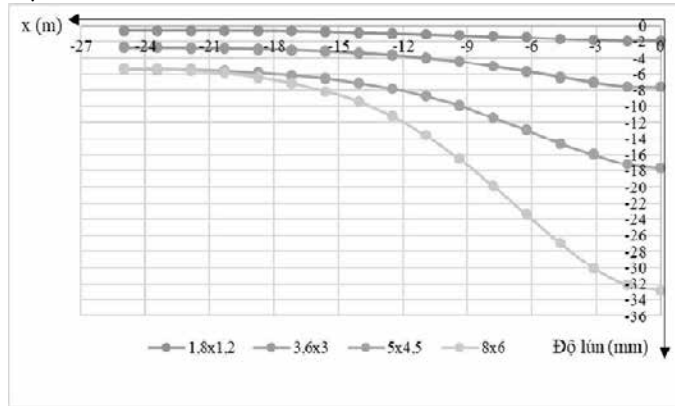
Hệ số k	Hàm Gauss	Hệ số k	Hàm Gauss
1,0	$S_v = -7,60.e^{-\frac{x^2}{2.12.540^2}}$	1,2	$S_v = -7,64.e^{-\frac{x^2}{2.12.541^2}}$
1,05	$S_v = -7,61.e^{-\frac{x^2}{2.12.543^2}}$	1,3	$S_v = -7,66.e^{-\frac{x^2}{2.12.551^2}}$
1,1	$S_v = -7,61.e^{-\frac{x^2}{2.12.554^2}}$	1,5	$S_v = -7,71.e^{-\frac{x^2}{2.12.547^2}}$
1,15	$S_v = -7,63.e^{-\frac{x^2}{2.12.543^2}}$		

Từ các kết quả ở hình 6 cho thấy rằng độ lún lớn nhất trên bề mặt sẽ tăng khi lực kích tăng, tuy nhiên giá trị độ lún tăng lên không đáng kể. Điều này là do trong quá trình kích đẩy, khi lực kích tăng lên thì khả năng phá vỡ cấu trúc đất xung quanh xảy ra

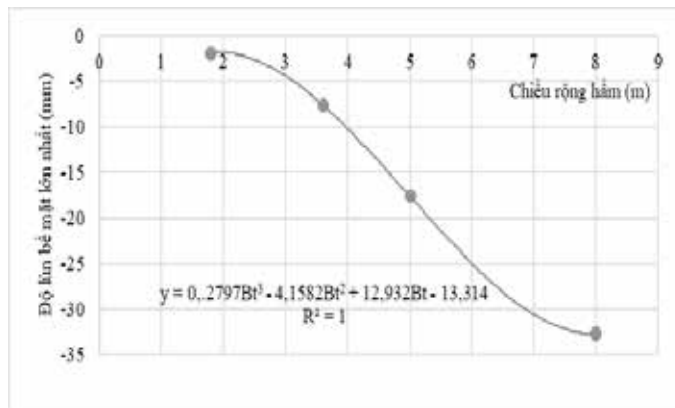
nhANH hơn, làm biến dạng môi trường xung quanh, dẫn đến lún trên bề mặt tăng lên nhưng không đáng kể.

Ảnh hưởng của kích thước hình học

Hình dạng máng lún và sự phụ thuộc độ lún lớn nhất trên bề mặt vào kích thước của hầm khi thay đổi kích thước hầm được thể hiện trên hình 7 và hình 8.



Hình 7. Hình dạng máng lún khi thay đổi kích thước hầm



Hình 8. Sự phụ thuộc của độ lún lớn nhất trên bề mặt vào chiều rộng vỏ hầm (trục hoành)

Đặc trưng máng lún trên bề mặt (hình 7) được xấp xỉ theo hàm Gauss và được thể hiện trên bảng 7.

Bảng 7. Hàm Gauss thể hiện đường cong máng lún trên bề mặt khi thay đổi kích thước hầm

STT	Kích thước hầm (m)	Hàm Gauss
1	1,8x1,2	$S_v = -1,83.e^{-\frac{x^2}{2.12,274^2}}$
2	3,6x3	$S_v = -7,60.e^{-\frac{x^2}{2.12,540^2}}$
3	5x4,5	$S_v = -17,64.e^{-\frac{x^2}{2.12,485^2}}$
4	8x6	$S_v = -32,76.e^{-\frac{x^2}{2.9,002^2}}$

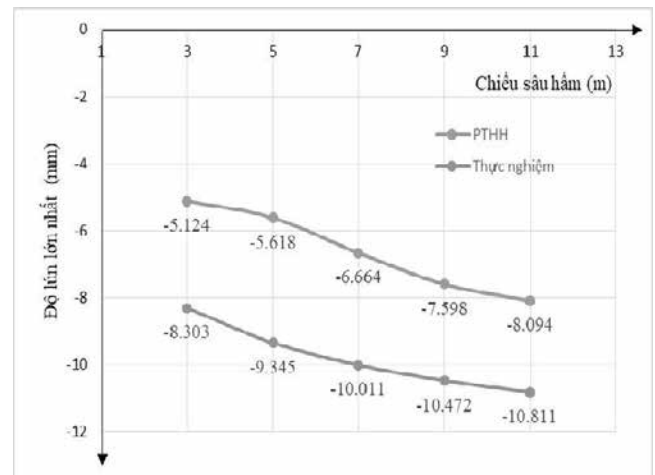
Từ các kết quả trên hình 7 và hình 8 cho thấy rằng giá trị độ lún trên bề mặt tăng rõ rệt khi tăng kích thước của hầm. Khi tăng bề rộng của hầm lên lần lượt 2; 2,8 và 4,4 lần thì giá trị độ lún lớn nhất trên bề mặt tăng lần lượt là 4,2; 9,6 và 17,4 lần.

Ảnh hưởng của chiều sâu đặt hầm

Theo các công thức thực nghiệm (14) và (15), khi kích thước hầm không đổi thì một trong các yếu tố ảnh hưởng đến độ lún lớn nhất trên bề mặt là chiều sâu đặt hầm. Qua tính toán, ta có kết quả độ lún lớn nhất trên bề mặt khi thay đổi chiều sâu đặt hầm theo phương pháp phần tử hữu hạn và phương pháp thực nghiệm được thể hiện trên bảng 5 và hình 9.

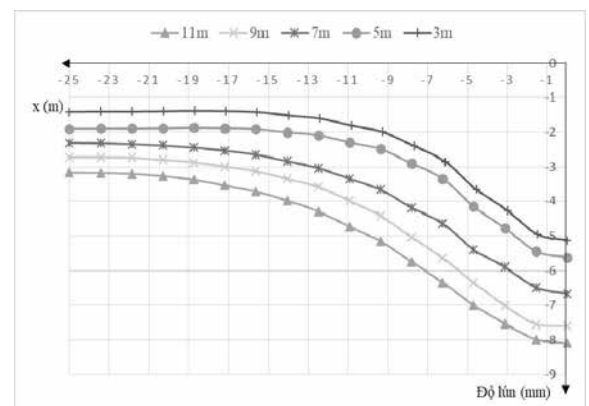
Bảng 1: Kết quả độ lún lớn nhất trên bề mặt theo độ sâu

STT	Chiều sâu đặt hầm (m)	Độ lún dọc lớn nhất (mm)		Chênh lệch (%)
		Phương pháp PTHH	Phương pháp thực nghiệm	
1	3	5,124	8,303	38,3
2	5	5,618	9,345	39,9
3	7	6,664	10,011	33,4
4	9	7,598	10,472	27,4
5	11	8,094	10,811	25,1

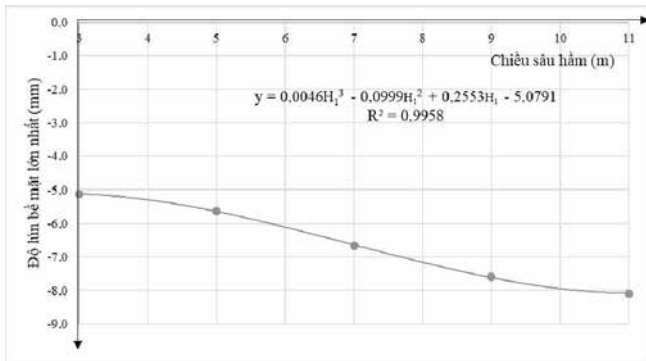


Hình 9. Biểu đồ quan hệ giữa độ lún lớn nhất và chiều sâu đặt hầm theo phương pháp PTHH và phương pháp thực nghiệm

Hình dạng máng lún và biểu đồ quan hệ giữa độ lún lớn nhất trên bề mặt với chiều sâu đặt hầm được thể hiện trên hình 10, 11.



Hình 10. Hình dạng máng lún khi thay đổi chiều sâu đặt hầm



Hình 11. Sự phụ thuộc độ lún bề mặt vào độ sâu đặt hầm

Đặc trưng máng lún trên bề mặt (hình 10) được xấp xỉ theo hàm Gauss với độ chính xác cao và được thể hiện trên bảng 8.

Bảng 8. Hàm Gauss thể hiện đường cong máng lún trên bề mặt

Z_0 (m)	Hàm Gauss S_v (mm)	Z_0 (m)	Hàm Gauss S_v (mm)
3	$S_v = -5,124.e^{-\frac{x^2}{2.8,575^2}}$	9	$S_v = -28,25.e^{-\frac{x^2}{2.7,81^2}}$
5	$S_v = -23,64.e^{-\frac{x^2}{2.4,69^2}}$	11	$S_v = -28,32.e^{-\frac{x^2}{2.9,37^2}}$
7	$S_v = -25,95.e^{-\frac{x^2}{2.6,25^2}}$		

Từ các kết quả trên bảng 5 và hình 9, 10, 11 có thể nhận xét rằng giá trị lún trên bề mặt tăng dần khi tăng chiều sâu đặt hầm đến một độ sâu nhất định (khoảng $3B_t$). Nếu tiếp tục tăng chiều sâu đặt hầm từ độ sâu $H=3B_t$ thì giá trị độ lún thay đổi rất ít (hầu như không đáng kể). Điều này được giải thích là lúc này hầm được tính như hầm đặt sâu do đã tạo thành vòm áp lực phía trên hầm nên biến dạng của khối đất trên hầm giữ ở mức ổn định.

Đối với trường hợp chỉ thay đổi chiều sâu đặt hầm thì giá trị lún lớn nhất trên bề mặt tính theo phương pháp PTHH tương đối sát với phương pháp thực nghiệm nhưng nhỏ hơn.

5. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Từ các kết quả thử nghiệm số ở trên, có thể rút ra một số kết luận sau:

- Xây dựng được mô hình tính bằng phương pháp phần tử hữu hạn với độ tin cậy khá cao.
- Khi đào hầm bằng phương pháp kích đẩy thì hình dạng phễu lún trên bề mặt khi tính toán bằng phương pháp PTHH có thể được xấp xỉ dưới dạng hàm Gauss với độ chính xác cao.
- Thiết lập được các công thức chỉ ra mối liên hệ giữa độ lún lớn nhất trên bề mặt với các tham số khảo sát như lực kích, kích thước hình học của hầm, chiều sâu đặt hầm.
- Từ các kết quả khảo sát cho phép tham khảo và lựa chọn lực kích, kích thước hầm, chiều sâu đặt hầm hợp lý và trong trường hợp cần dự báo lún trên bề mặt khi ở bước thiết kế ban đầu mà do một số hạn chế nhất định chưa thể quan trắc một

cách đầy đủ giá trị lún trên bề mặt thì có thể sử dụng phương pháp PTHH (Plaxis 3D Tunnel) để dự đoán lún trên bề mặt. Từ đó có thể đề xuất các biện pháp gia cố làm giảm thiểu khả năng gây lún cũng như đánh giá độ ổn định của hầm trước và sau khi gia cố.

- Bài báo mới chỉ khảo sát sự ảnh hưởng của các tham số về công nghệ và kỹ thuật như lực kích, kích thước hình học, chiều sâu đặt hầm đến giá trị lún trên bề mặt. Vì vậy cần tiếp tục khảo sát sự thay đổi của các yếu tố khác như sự thay đổi địa chất, sự thay đổi giá trị mất mát thể tích... đến lún trên bề mặt khi thi công hầm bằng phương pháp kích đẩy.

- Mô hình vật liệu cho môi trường đất xung quanh hầm trong các bài toán khảo sát là mô hình Mohr-Coulomb. Cần khảo sát với các mô hình khác của vật liệu đất nền để đánh giá đầy đủ tương tác giữa hầm với môi trường đất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Đức Nguồn (2012), Cơ sở thiết kế và thi công công trình ngầm đô thị, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
2. Vũ Thị Thuý Giang (2022), Tài liệu hướng dẫn Thiết kế vỏ đường ống kỹ thuật thi công bằng phương pháp khoan kích ngầm, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội.
3. Đinh Viết Thanh, Phan Thành Trung (2019), Dự đoán chuyển vị của đất trên bề mặt khi xây dựng hầm tuyến đơn bằng phương pháp TBM (Tunnelling Boring Machine), Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật - Số 196 (02-2019) - Học viện KTQS.
4. Babak Haji Mohammad Hasan Mamaqani (2014), Numerical Modeling of Ground Movements Associated with Trenchless Box Jacking Technique, The University of Texas At Arlington.
5. Hamid Chakeri., Bahtiyar Unever (2014). A new equation for estimating the maximum surface settlement above tunnels excavated in soft ground. *Environ. Earth Sci.*, 71, 3195-3210. DOI 10.1007/s12665-013-2707-2.
6. Attewell P.B., Woodman J.P (1982). Predicting the dynamics of ground settlement và its derivatives caused by tunnelling in soil. *Ground Engineering*, 15(8).
7. McCabe, B.A., Orr, T.L.L., Reilly, C.C., Curran, B.G. (2012). Settlement trough parameters for tunnels in Irish glacial tills. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 27, 1-12.
8. Pickhaver, J.A. (2006). *Numerical modeling of building response to tunnelling*. PhD Thesis. University of Oxford.
9. Mroueh, H., Shahrour, I. (2008). A simplified 3D model for tunnel construction using tunnel boring machines. *Tunnelling và Underground Space Technology*, 23, 38-45.
10. Trần Văn Lợi (2019), Обоснование Конструктивно- Ехнологических Параметров При Строительстве Тоннелей Методом Продавливания В Условиях Вьетнама, диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, МОСКВА – 2019.