

MÔ HÌNH PHÂN TÍCH DỰ BÁO ĐỘ LÚN MẶT ĐẤT KHI THI CÔNG ĐƯỜNG HẦM ĐÔ THỊ BẰNG MÁY KHIÊN ĐÀO

ĐỖ NGỌC THÁI, LÝ VĂN HƯƠNG, PHẠM THỊ PHƯƠNG,
BÙI THỊ PHƯƠNG, TRẦN VĂN ĐƯƠNG, NGUYỄN VŨ HIẾU
Trường Đại học Mở-Địa chất

ĐỖ ĐỨC TOÀN - Công ty CP Tư vấn Xây dựng Điện 4
Email: dongocthai@khoaxaydung.edu.vn

Hoạt động thi công các đường hầm sẽ gây ra những tác động đến khối đất đá xung quanh và các công trình trên mặt đất. Đối với các đường hầm trong đô thị, công tác thi công dưới các tòa nhà cao tầng hay dưới hệ thống kỹ thuật ngầm đô thị luôn tiềm ẩn những rủi ro như gây lún, biến dạng hay sập đổ phá hủy các công trình lân cận [5], [8]. Do đó, công tác quy hoạch, thiết kế ban đầu, bao gồm lựa chọn hướng tuyến hay thiết kế kỹ thuật cần đánh giá, dự báo mức độ tác động từ hoạt động thi công đường hầm đến các công trình lân cận. Công tác đánh giá dự báo này mang ý nghĩa rất quan trọng trong quá trình xây dựng đường hầm.

Phương pháp dự báo lún bề mặt khi thi công đường hầm tàu điện ngầm đô thị có thể sử dụng phương pháp giải tích hoặc phương pháp mô hình số, kết quả dự báo cần được so sánh và kiểm chứng để làm cơ sở cho công tác thiết kế sơ bộ.

Phương pháp mô hình số có chú ý tới nhiều yếu tố ảnh hưởng đến giá trị dịch chuyển, lún bề mặt đất. Phương pháp mô phỏng quá trình thi công một cách gần đúng nên cho kết quả gần đúng với thực tế. Tuy nhiên, để nâng cao độ chính xác của kết quả dự báo thì người lập mô hình cần hiểu rõ các thông số đầu vào về tính chất cơ lý của các lớp đất đá và lớp vỏ chống đường hầm cũng như những thông số khác từ công nghệ và máy thi công đường hầm.

1. Máy khiên đào

Máy khiên đào là máy đào hầm cơ giới có nhiều chức năng tập trung thống nhất như đào, che chống bảo vệ, lắp đặt vỏ hầm và vận chuyển đất đá. Máy khiên đào thích hợp cho việc thi công đường hầm qua vùng đất đá mềm yếu, phức tạp,

có nguy cơ mất ổn định cao, đất đá có khả năng sụt lở ngay vào không gian công trình nếu không có kết cấu chống giữ. Phần đầu cắt trang bị hệ thống đĩa cắt có nhiệm vụ phá vỡ khối đất đá, phần kế tiếp có bố trí các kích đẩy cho phép đầu cắt tiến về phía trước, phần đuôi khiên có nhiệm vụ lắp đặt vỏ hầm, vận chuyển đất đá về phía sau và đưa ra ngoài, bơm phụt vữa lấp đầy khoảng trống phía sau vỏ hầm [7].

Khoang công tác ở phía sau mâm cắt luôn duy trì áp lực nhằm cân bằng áp lực nước ngầm và áp lực đất đá để giữ ổn định cho gương hầm và giảm những dịch chuyển lún trên mặt đất. Theo nguyên lý chống giữ gương bằng phương pháp cân bằng áp lực gương thì máy khiên đào được chia ra: khiên cân bằng áp lực khí nén; khiên cân bằng áp lực vữa và khiên cân bằng áp lực đất.

1.1. Khiên cân bằng áp lực khí nén

Khi thi công qua địa tầng có chứa nước ngầm, để ngăn chặn không cho nước ngầm xâm nhập vào buồng công tác, do đó buồng công tác luôn được duy trì một áp lực khí nén. Nhờ áp lực khí nén mà nước ngầm không chỉ bị giữ lại mà còn bị đẩy, giữ sâu vào trong đất.

1.2. Khiên cân bằng áp lực vữa

Khiên đào áp lực vữa áp dụng phù hợp cho địa tầng có bề mặt gương có thể chống đỡ bằng dung dịch vữa áp lực, thi công trong những địa hình khó khăn như dưới các sông hồ hoặc dưới tầng nước ngầm, đất đào ra được đưa ra ngoài qua ống dẫn, đá cuội, sỏi được nghiền ra và di chuyển ra ngoài qua đường ống. Áp lực nước ngầm, áp lực địa tầng được cân bằng với áp lực dung dịch vữa. Áp lực dung dịch vữa được duy trì thích hợp cho việc tạo lên màng bùn chống đỡ khối đất trước gương.

Đĩa cắt phía trước gương cào bóc khối đất ở mặt ngoài màng bùn. Hỗn hợp bùn đất trước gương sau khi được tách bóc được bơm hút đưa lên bề mặt đất để xử lý.

1.3. Khiên cân bằng áp lực đất

Đất được đào bởi đầu cắt của khiên sẽ được sử dụng để gia cố gương hầm. Chất tạo bột được bơm vào trước đầu cắt làm cho đất kết dính lại đảm bảo kiểm soát chính xác áp lực cân bằng gương hầm. Đất sau khi tách bóc ra sẽ theo rãnh dao cắt tiến vào khoang công tác. Khi áp lực trong khoang công tác đủ lớn để chống lại áp lực địa tầng và áp lực nước ngầm thì mặt gương đào sẽ giữ được ổn định mà không bị sụt lở. Yêu cầu cần

giữ cho lượng đất trong máng xoắn ốc và lượng đất trong khoang công tác cân bằng với lượng đất đào ra khi tiến vào trong khoang công tác. Đất đào ra được vận chuyển trong máng xoắn ốc ở phía sau khoang công tác theo cửa xả được đưa ra ngoài. Khiên cân bằng áp lực đất thích hợp với các địa tầng đất sét, đất có thành phần dính kết,... đồng thời bảo vệ có hiệu quả sự ổn định bề mặt gương đào, giảm được độ lún bề mặt, trong khi thi công dễ dàng thao tác và có tính an toàn cao. Khi thi công qua các tầng đất cát, sỏi, cần trộn thêm dung dịch vữa, phụ gia,... để cải tiến đặc tính của khối đất sau khi đào ra, như tăng tính lưu động, lấp đầy khoang công tác làm ổn định bề mặt gương.

Bảng 1. Kết quả đo đạc, quan trắc thực tế giá trị lún mặt đất gây ra khi thi công đường hầm tại một số nước trên thế giới [7]

Loại đường hầm	Đường kính, m	Chiều sâu bố trí đường hầm, m	Giá trị lún mặt đất, mm	Kiểu máy khiên đào; Đường hầm thi công trong lớp đất đá
Tàu đường sắt tại thành phố Barcelona, Tây Ban Nha	11,2	30	5,0	Khiên áp lực đất; Đất sét và cát
Hầm thoát nước ở Sudden Valley, Mỹ	14,3	9,12	43,0	Khiên cân bằng áp lực đất; Cát bão hòa nước
Tàu điện ngầm đường số 1 ở Madrid, Tây Ban Nha	9,38	15,50	18,0	Khiên áp lực đất; Cát và đất sét
Tàu điện ngầm đường số 2 ở Madrid, Tây Ban Nha	9,38	17,00	21,2	Khiên áp lực đất; Đất sét và cát
Đường hầm ô tô ở Val-de-Marne, Pháp	3,35	7,75	5,3	Khiên cân bằng áp lực vữa; sỏi cát
Tàu điện ngầm đường số 2 tại Thượng Hải, Trung Quốc	11,2	24,50	17,9	Khiên cân bằng áp lực vữa; đất mùn, cát pha
Tàu điện Ngầm đường D tại Lyon, Pháp	6,27	16,40	13,5	Khiên cân bằng áp lực vữa; cát sét mịn

2. Dự báo giá trị lún mặt đất

Khi thi công đường hầm trong môi trường đồng nhất, đẳng hướng thì gây ra độ lún trên bề mặt có giá trị (S_v) được xác định theo công thức (1), đường cong lún bề mặt đất được Peck, (1969) [4] giả định có dạng hàm phân phối chuẩn Gauss hay đường cong phân phối chuẩn, với điểm lún cực đại $S_{v,max}$ nằm ngay trên trục thẳng đứng của đường hầm, giá trị lún bề mặt được xác định theo công thức:

$$S_v = S_{v,max} \cdot e^{-[x^2/(2 \cdot i^2)]} \tag{1}$$

Trong đó: $S_{v,max}$ - Giá trị độ lún lớn nhất theo phương thẳng đứng dọc trục đường hầm, m; x - khoảng cách từ trục hầm theo phương nằm ngang, m; i - Khoảng cách từ tâm đường hầm đến điểm uốn theo phương nằm ngang, m.

Theo O'Reilly and New, (1982) [3] giá trị khoảng

cách từ tâm đường hầm đến điểm uốn theo phương nằm ngang (i) được xác định theo công thức:

$$i = (K \cdot z_0) \tag{2}$$

Trong đó: K - Tham số chiều rộng máng lún, phụ thuộc vào điều kiện và loại đất mà đường hầm thi công qua, ví dụ đối với cát trong điều kiện nước ngầm ta có $K=0,2 \div 0,3$ và đối với sét ta có $K=0,4 \div 0,7$; z_0 - Chiều sâu bố trí đường hầm, m.

Thể tích máng lún " V_s " trên mỗi đơn vị chiều dài đường hầm được xác định theo công thức:

$$V_s = \int_{-\infty}^{\infty} S_{v,max} \cdot e^{-[x^2/(2 \cdot i^2)]} = \sqrt{2\pi} \cdot i \cdot S_{v,max} \tag{3}$$

Lượng mất thể tích đất (V_L) là tỷ số giữa thể tích của máng lún và thể tích đào lý thuyết tính cho một đơn vị chiều dài.

$$V_L = [(V_s/V_0) \cdot 100 \%]. \tag{4}$$

Trong đó: V_0 - Thể tích đào lý thuyết, m^3 .

Từ các công thức (1), (2) và (3) độ lún tại điểm bất kỳ trên mặt đất được xác định theo công thức:

$$S_v = \frac{V_s}{\sqrt{2\pi \cdot K \cdot z_0}} \cdot e^{-\left[\frac{x^2}{2K^2 \cdot z_0^2} \right]} \quad (5)$$

Phương pháp dự báo lún bề mặt khi thi công đường hầm tàu điện ngầm thành phố có thể sử dụng phương pháp giải tích hoặc phương pháp mô hình số. Để dự báo giá trị lún mặt đất gây ra từ công tác thi công một đường hầm cụ thể có thể kết hợp nhiều phương pháp dự báo và được so sánh với kết quả đo đạc, quan trắc thực tế của các công trình có điều kiện xây dựng tương tự. Trong Bảng 1 thể hiện kết quả đo đạc, quan trắc thực tế giá trị lún mặt đất gây ra khi thi công đường hầm bằng máy khiên đào tại một số nước trên thế giới.

3. Xây dựng mô hình số

Để dự báo độ lún mặt đất khi thi công đường

Bảng 2. Đặc tính cơ lý các lớp đất đá.

Lớp đất đá	Chiều dày lớp H, m	Khối lượng thể tích γ , kN/m ³	Mô đun đàn hồi E, Mpa	Hệ số Poisson, ν	Góc ma sát trong, ϕ , độ	Lực dính kết c, kPa
Lớp 1	5	19.0	10	0.35	8 ⁰	12
Lớp 2	7	19.2	30	0.35	10 ⁰	15
Lớp 3	21	20.0	50	0.32	25 ⁰	22
Lớp 4	67	22.0	100	0.30	30	30

3.1. Kích thước mô hình

Kích thước mô hình có ảnh hưởng đến độ chính xác của kết quả tính toán, vùng phân tích được lựa chọn có kích thước bằng 7,0 lần đường kính hầm theo phương ngang và phương thẳng đứng sao cho vùng ảnh hưởng tạo ra tại đường biên trong kết quả phân tích có giá trị trong giới hạn cho phép. Chiều cao tính từ đỉnh hầm đến lớp biên phía trên bằng chính độ sâu đặt đường hầm. Kích thước mô hình phân tích (100×100×120).

3.2. Điều kiện biên

Biên trái và biên phải của mô hình chọn loại cố định (chuyển vị ngang tại biên bằng không), trong khi biên đáy của mô hình cũng tương tự (chuyển vị đứng bằng 0). Biên phía bề mặt để tự do cho phép chuyển vị theo phương thẳng đứng và nằm ngang thể hiện trên hình H.1.

3.3. Áp lực tác dụng lên gương đào

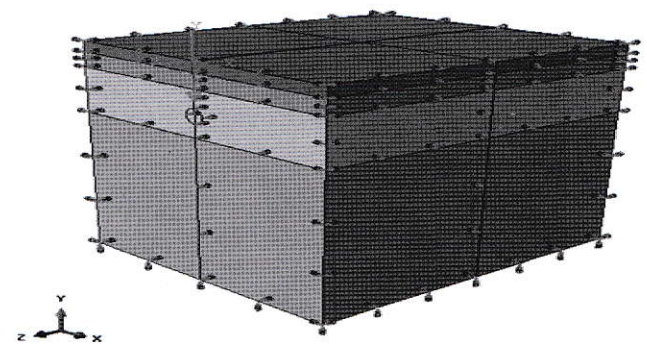
Trong quá trình thi công đường hầm, phía trước gương đào hình thành khối đất đá phá hủy có xu hướng trượt, sụt lở vào trong gương đào [5], [8]. Duy trì áp lực lên gương đào có tác dụng nhằm cân bằng áp lực gương giữ ổn định gương đào, kiểm soát, giảm thiểu độ dịch chuyển khối đất đá, lún bề mặt đất. Giá trị áp lực cân bằng gương

hầm bằng máy khiên đào, các tác giả sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn thông qua phần mềm chuyên dụng Simulia Abaqus-6.12. Phần mềm cho phép phân tích các quá trình thi công tách bóc đất đá, duy trì áp lực ổn định gương hầm, công tác lắp dựng vỏ chống và công tác phục vụ lắp đầy khoảng trống giữa bề mặt đất đá và vỏ chống, đồng thời đưa ra các kết quả giá trị ứng suất và dịch chuyển khối đất đá gây ra bởi công tác thi công đường hầm [1], [6].

Bài toán mô phỏng số đối với đường hầm có đường kính D=7 m, vị trí xây dựng dưới độ sâu Z₀=20 m. Lắp dựng vỏ chống bê tông đúc sẵn có chiều dày d=0,35 m, mô đun đàn hồi E=30 GPa, hệ số Poisson $\nu=0,2$ và sử dụng mô hình vật liệu vỏ chống bê tông đúc sẵn là đàn hồi tuyến tính.

Mô hình vật liệu cho các lớp đất đá được sử dụng mô hình Mohr-Coulomb. Các tham số cơ lý chính của các lớp đất đá được thể hiện trong Bảng 2.

được xác định phụ thuộc vào đường kính, chiều sâu bố trí đường hầm và các giá đặc tính cơ lý khối đất đá xung quanh. Ở mô hình này các tác giả sử dụng áp lực lên gương đào có giá trị F_g=200 kPa.



H.1. Vị trí lớp đất đá và điều kiện biên mô hình bài toán

3.3. Các giai đoạn mô phỏng tính toán thi công đường hầm

Các giai đoạn mô phỏng, tính toán công tác thi công đoạn hầm bao gồm:

- Giai đoạn 1: xây dựng điều kiện biên, trường ứng suất ban đầu;
- Giai đoạn 2: tách bóc đất đá, duy trì áp lực lên

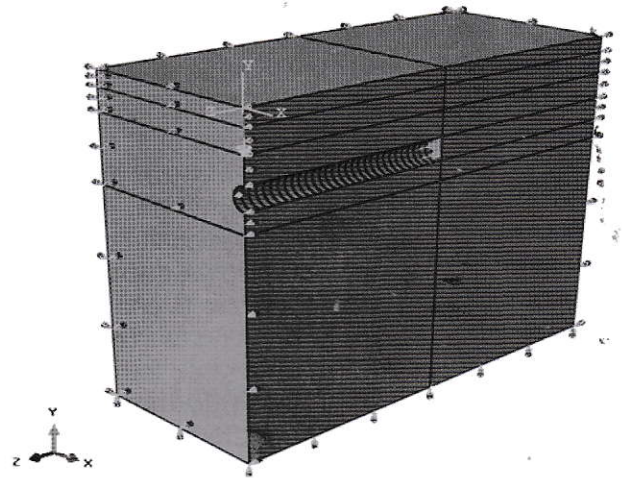
gương đào;

➤ Giai đoạn 3: lấp đặt vỏ chống, duy trì áp lực phụt vữa phía sau vỏ chống.

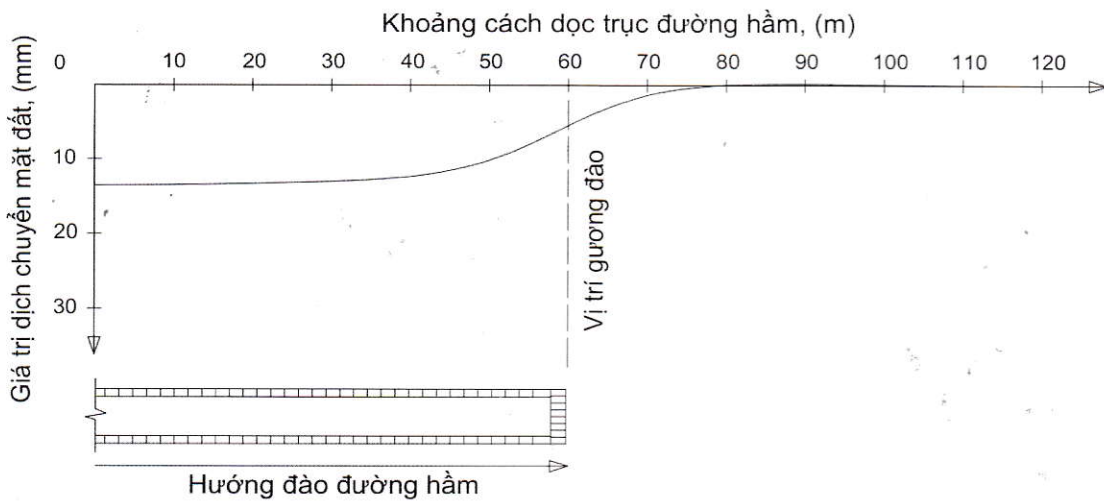
3.4. Kết quả tính toán

Giá trị dịch chuyển, lún mặt đất dọc trục đường hầm thể hiện trên hình H.3. Từ kết quả phân tích mô hình số thể hiện trên hình H.3 cho thấy tác động từ công tác thi công đường hầm gây ra dịch chuyển bề mặt đất có giá trị lớn nhất là 12÷13 mm và tại vị trí gương đào giá trị dịch chuyển, lún bề mặt đất là 5÷6 mm. Giá trị kết quả phân tích cho thấy, giá trị dịch chuyển mặt đất tại vị trí gương đào có giá trị bằng $(0,41 \div 0,46)$ lần giá trị dịch chuyển, lún bề mặt lớn nhất gây ra bởi công tác thi công đường hầm $S_{v-gương} = [(0,41 \div 0,46) \cdot S_{v-max}]$. Vị trí vùng bị ảnh hưởng lún mặt đất theo chiều dọc đường hầm ở phía trước gương đào là 15m và giá trị lún lớn nhất đạt được tại vị trí phía sau gương đào 30 m. Giá trị dịch chuyển trên mặt cắt ngang được thể

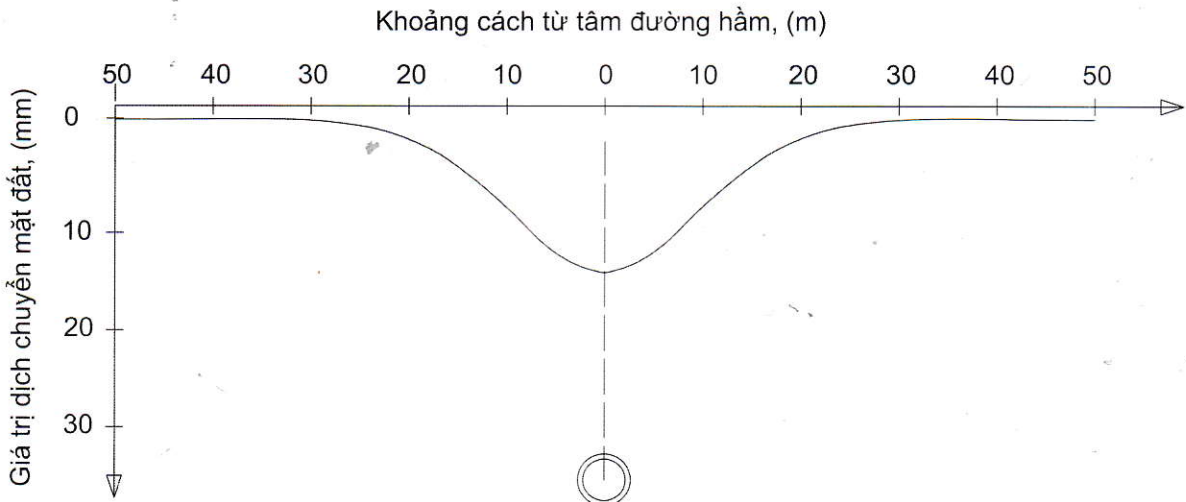
hiện trên hình H.4.



H.2. Mô hình duy trì áp lực tác dụng lên gương đào đường hầm



H.3. Dịch chuyển mặt đất dọc trục đường hầm



H.4. Giá trị dịch chuyển mặt đất lớn nhất trên mặt cắt ngang

4. Kết luận

Từ kết quả phân tích mô hình số ta thấy, đối với đường hầm bố trí nằm gần mặt đất, trong điều kiện địa chất yếu khi thi công đường hầm dẫn đến hiện tượng dịch chuyển, lún mặt đất. Đối với đường hầm mô phỏng tính toán ở trên, tác động từ công tác thi công đường hầm gây ra dịch chuyển, lún mặt đất có giá trị lớn nhất là $12 \div 13$ mm và tại vị trí gương đào đạt giá trị lún mặt đất là $5 \div 6$ mm. Giá trị kết quả phân tích cho thấy, giá trị dịch chuyển, lún bề mặt tại vị trí gương đào có giá trị bằng $(0,41 \div 0,46)$ lần giá trị dịch chuyển, lún bề mặt lớn nhất gây ra bởi công tác thi công đường hầm $S_{v-gương} = [(0,41 \div 0,46) \cdot S_{v-max}]$. Vị trí vùng bị ảnh hưởng lún mặt đất theo chiều dọc đường hầm ở phía trước gương đào là 15 m và giá trị lún lớn nhất đạt được tại vị trí phía sau gương đào 30 m. Vị trí vùng bị ảnh hưởng lún mặt đất theo chiều ngang có vị trí sang hai bên tới 25 m tính từ tim hầm.

Để giảm thiểu giá trị lún bề mặt đất thì công tác quy hoạch, thiết kế cần bố trí đường hầm trong khu vực có điều kiện địa chất, địa chất thủy văn ổn định, thuận lợi cho công tác thi công. Quá trình thi công, vận hành và sử dụng máy khiên đào cần điều chỉnh giá trị áp lực lên gương đào phù hợp, không để khối đất đá sập đổ vào gương đào sẽ gây ra hiện tượng sụt lún lên đến bề mặt đất. Công tác phụt vữa lấp đầy khoảng trống sau vỏ chống có ý nghĩa rất lớn không chỉ tăng độ bền độ ổn định cho đường hầm mà còn giảm thiểu đáng kể giá trị lún bề mặt đất. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Abaqus Inc. "Abaqus User's Manual." Version 6.12. SIMULIA. 2012. - 773 p.
2. Do Ngoc Thai, Protosenya A.G. The effect of tunnel face support pressure on ground surface settlement in urban areas due to shield tunneling. Geo - Spatial Technologies and Earth resources (ISM-2017), 415- 420. 2017.
3. O'Reilly M.P., New B.M. Settlements above tunnels in the UK - their magnitude and prediction. Tunnelling 82, pp. 173-181. 1982.
4. Peck R.B. Deep excavations and tunnelling in soft ground. In: Proc. 7th ICSMFE, State-of-the-art Volume, Mexico City. Mexico: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, pp. 225-290. 1969.
5. Protosenya A.G., Belyakov N.A., Do Ngoc Thai. The development of prediction method of earth pressure balance and earth surface settlement during tunneling with mechanized tunnel boring machines. Proceedings of the mining institute 211. 53-63. 2015.

6. Suprun I.K. Prediction method of the stress-strain state of the tunnel lining with mechanized tunnel boring machines. Publishing House of Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia. 2013

7. Vittorio Guglielmetti. Mechanized Tunneling in Urban Areas: Design methodology and construction control/Vittorio Guglielmetti, Piergiorgio Grasso, Shulin Xu; Taylor&Francis e-Library. 2007. - 504 p.

8. Võ Trọng Hùng, Phùng Mạnh Đắc. Cơ học đá ứng dụng trong xây dựng công trình ngầm và khai thác mỏ. NXB Khoa học Kỹ thuật. Hà Nội. 2005.

Ngày nhận bài: 16/06/2019

Ngày gửi phản biện: 19/08/2019

Ngày nhận phản biện: 24/11/2019

Ngày chấp nhận đăng bài: 10/12/2019

Từ khóa: đường hầm đô thị; dịch chuyển khối đất đá; máy khiên đào; độ lún mặt đất; mô hình số; thiết kế đường hầm

Trách nhiệm pháp lý của các tác giả bài báo: các tác giả hoàn toàn chịu trách nhiệm về các số liệu, nội dung công bố trong bài báo theo Luật Báo chí Việt Nam

SUMMARY

Many urban tunnels are constructed in soft ground at shallow depths. The construction of tunnels in urban areas may cause ground displacement which distort and damage overlying buildings. In the past few decades, tunnel boring machines have been used to drill in increasingly difficult geotechnical conditions such as soft ground like soft clay. This is particularly true for mechanized tunneling and specific boring machines, as, for examples, the compressed air shield, the earth pressure balanced shield and the slurry shield, have been developed in the recent decades for managing the instability of the excavation profile in unfavorable geotechnical and hydro geological conditions, with challenge external constraints. This paper analyses, calculates model for ground surface settlement prediction in urban areas due to shield tunneling.