

**NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG MÁY KINH VĨ CON QUAY
ĐỂ ĐỊNH HƯỚNG HẦM TRONG THI CÔNG XÂY DỰNG ĐƯỜNG HẦM
TÀU ĐIỆN NGẦM BẰNG CÔNG NGHỆ TBM Ở VIỆT NAM**

**STUDYING ON THE ABILITY OF APPLICATION OF GYROTHEODOLITE
TO THE TUNNEL ORIENTATING IN CONSTRUCTING
THE SUBWAY TUNNEL BY TBM TECHNOLOGY IN VIETNAM**

Diêm Công Huy

Viện Khoa học công nghệ xây dựng

Email: dchuyibst@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.59382/pro.intl.con-ibst.2023.ses3-9>

TÓM TẮT: Nội dung bài báo trình bày tóm tắt nguyên lý hoạt động, khả năng ứng dụng của máy kinh vĩ con quay (Gyrotheodolite) trong công tác định hướng hầm. Khảo sát độ chính xác giữa đường chuyền trong hầm thành lập bằng phương pháp truyền thống đo góc, cạnh và đường chuyền trong hầm có phương vị các cạnh đo bằng máy kinh vĩ con quay. Phân tích ưu, nhược điểm và khả năng ứng dụng máy kinh vĩ con quay nhằm đảm bảo và nâng cao độ chính xác định hướng hầm khi thi công xây dựng đường hầm tàu điện ngầm bằng công nghệ TBM (Tunnel boring machine) ở Việt Nam.

TỪ KHÓA: Máy kinh vĩ con quay; Tuyến hầm; TBM.

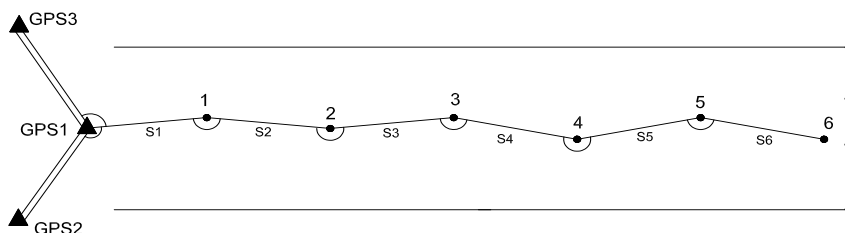
ABSTRACTS: *This paper briefly presents the operation principle, the ability of application of gyrotheodolite to the tunnel orientation. The paper also presents a comparison of the accuracy between the traverse established with traditional method, measuring angles and sides, and the traverse inside the tunnel with azimuth of measured sides determined by gyrotheodolite. From the comparison, the advantages, disadvantages and the ability of application of the gyrotheodolite in order to ensure and improve the accuracy of the tunnel orientation when constructing the subway tunnel by TBM technology (Tunnel Boring Machine) in Vietnam were analyzed and evaluated.*

KEYWORDS: *Gyrotheodolite; Tunnel line; TBM (Tunnel Boring Machine) technology.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khi thi công các công trình đường hầm, độ chính xác thông hầm của công trình phụ thuộc rất nhiều vào công tác định hướng hầm. Nếu công tác định hướng hầm làm không tốt thì kết quả thông hầm sẽ không đạt yêu cầu hạn sai làm ảnh hưởng đến chất lượng, tiến độ thi công công trình. Do vậy vấn đề định hướng đường hầm là rất quan trọng trong công tác thi công đường hầm.

Công tác định hướng hầm phải dựa vào cơ sở trắc địa thi công hầm bao gồm: lưới khống chế mặt đất, lưới khống chế trong hầm và công tác chuyền tọa độ và độ cao xuống hầm. Để đảm bảo cho công tác thông hầm đạt hiệu quả cao nhất và nằm trong giới hạn cho phép thì cần giải quyết được vấn đề nâng cao độ chính xác của cơ sở trắc địa trong thi công hầm. Từ trước đến nay ở Việt Nam, lưới khống chế thi công trong hầm thường được thành lập ở dạng tuyến đường chuyền treo (hình 1) do đặc điểm của địa hình và quy trình thi công đào hầm [3].



Hình 1. Lưới đường chuyền treo [4]

Với dạng lưới không chế này thường không có điều kiện để kiểm tra chất lượng đo đạc, do đó lưới có độ tin cậy thấp vì không có các trị đo thừa. Khi thi công hầm bằng công nghệ TBM, do quy trình thi công liên hoàn (Bao gồm: đào hầm, gia cố, lắp đặt hoàn thiện vỏ hầm ngay) nên yêu cầu kỹ thuật định hướng hầm có độ chính xác rất cao. Chính vì vậy cần phải nghiên cứu, ứng dụng các phương pháp thiết kế, các thiết bị đo đạc hiện đại... để nâng cao độ chính xác khi thành lập lưới không chế mặt bằng thi công trong hầm nhằm đảm bảo các chỉ tiêu kỹ thuật cần thiết trong thi công hầm bằng công nghệ TBM. Một trong các phương pháp đo đạc chuyên phương vị để nâng cao độ chính xác khi thành lập lưới không chế mặt bằng thi công trong hầm là sử dụng máy kinh vĩ con quay, song thiết bị này chưa được ứng dụng rộng rãi ở các công trình thi công đường hầm ở nước ta đặc biệt là thi công hầm bằng công nghệ TBM. Nên việc khảo sát độ chính xác và đánh giá khả năng ứng dụng máy kinh vĩ con quay nhằm đảm bảo và nâng cao độ chính xác định hướng hầm khi thi công xây dựng đường hầm tàu điện ngầm bằng công nghệ TBM (Tunnel boring machine) ở Việt Nam là rất cần thiết.

2. NGUYÊN LÝ ĐO PHƯƠNG VỊ BẰNG MÁY KINH VĨ CON QUAY

2.1. Giới thiệu máy kinh vĩ con quay [3]

Việc nghiên cứu và chế tạo máy kinh vĩ con quay được chia làm ba thời kỳ:

- Vào những năm 1950, sử dụng chủ yếu là loại con quay nổi trong dung dịch, trọng lượng toàn bộ của máy khoảng 250 kg đến 640 kg, thời gian một lần định hướng từ 2h đến 4h, độ chính xác đạt khoảng $\pm 01'$ đến $\pm 01'30''$. Vì máy quá nặng nên sử dụng thực tế rất hạn chế trong thực tế thi công công trình.

- Những năm 1960, sử dụng kết cấu dây treo kim loại để treo hộp con quay nên đã giảm trọng lượng của máy còn từ 35 kg đến 80 kg, thời gian một lần định hướng giảm xuống còn 30 phút đến 60 phút, độ chính xác đạt khoảng $\pm 10''$ đến $\pm 30''$.

- Những năm 1970, do yêu cầu ngày càng cao về độ chính xác cũng như tiến độ thi công của

công tác trắc địa đường hầm và công trình ngầm, máy phải có trọng lượng gọn nhẹ, các hãng đã nghiên cứu và chế tạo thành công máy nặng khoảng 14 kg đến 30 kg, thời gian đo ngắn khoảng 17 phút đến 40 phút, độ chính xác khoảng $\pm 20''$ đến $\pm 40''$. Gần đây Cộng hòa liên bang Đức đã chế tạo thành công máy kinh vĩ con quay Gyromat, đo tự động và được điều khiển bằng máy tính điện tử, thời gian đo 9 phút, độ chính xác đạt $\pm 3''$. Một số nước khác trên thế giới như Hungari, Mỹ, Nhật, Trung Quốc... cũng đã chế tạo thành công máy kinh vĩ con quay điện tử, đo tự động, có độ chính xác khoảng $\pm 2''$ đến $\pm 3''$.

2.2. Nguyên lý đo phương vị bằng máy kinh vĩ con quay [1, 6]

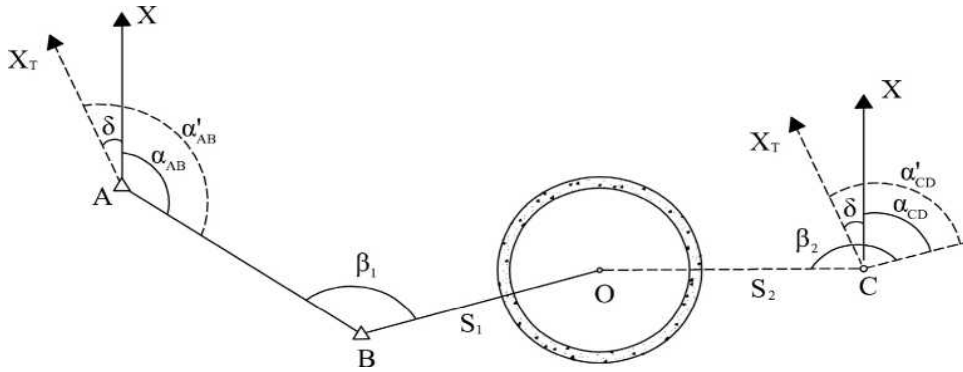
Góc phương vị của đường thẳng (góc phương vị cạnh) là góc hợp bởi hướng Bắc của kinh tuyến trục tới hướng đường thẳng theo chiều quay kim đồng hồ. Vậy để đo được góc phương vị cần phải xác định được hướng Bắc của hệ trục tọa độ. Máy kinh vĩ con quay hoạt động theo nguyên lý: Áp dụng định luật thứ nhất của Newton (Định luật quán tính). Thiết bị con quay, quay quanh trục quay tự do (trục đứng của máy) có tốc độ góc đủ lớn (> 20.000 vòng/phút thì vị trí cân bằng của nó luôn nằm trong mặt phẳng kinh tuyến đi qua điểm treo (điểm đặt máy). Trên nguyên lý như vậy, để xác định phương vị một cạnh, cần xác định vị trí cân bằng của trục quay và góc hợp bởi trục này với cạnh cần xác định phương vị. Từ đó tìm được góc phương vị từ vị trí đặt máy, tính chuyển kinh tuyến từ sang kinh tuyến trục thông qua độ lệch từ thiên (δ) tìm được góc phương vị của cạnh cần đo. Quy trình đo chuyển phương vị cho cạnh đầu tiên của lưới trong hầm theo nguyên lý này được tuân theo quy trình sau:

Trên mặt đất đặt máy kinh vĩ con quay tại mốc gốc A (Hình 2), đo được góc phương vị từ cho cạnh AB được α'_{AB} , AB là cạnh gốc đã biết góc phương vị α_{AB} . Độ lệch từ thiên được xác định theo công thức (1).

$$\delta = \alpha'_{AB} - \alpha_{AB} \quad (1)$$

Dưới hầm, đặt máy kinh vĩ con quay tại điểm C (Hình 2), đo được góc phương vị từ cho cạnh CD dưới hầm được tính theo công thức (2).

$$\alpha_{CD} = \alpha'_{CD} - \delta \quad (2)$$



Hình 2. Sơ đồ đo liên hệ qua giếng đứng sử dụng máy kinh vĩ con quay [1]

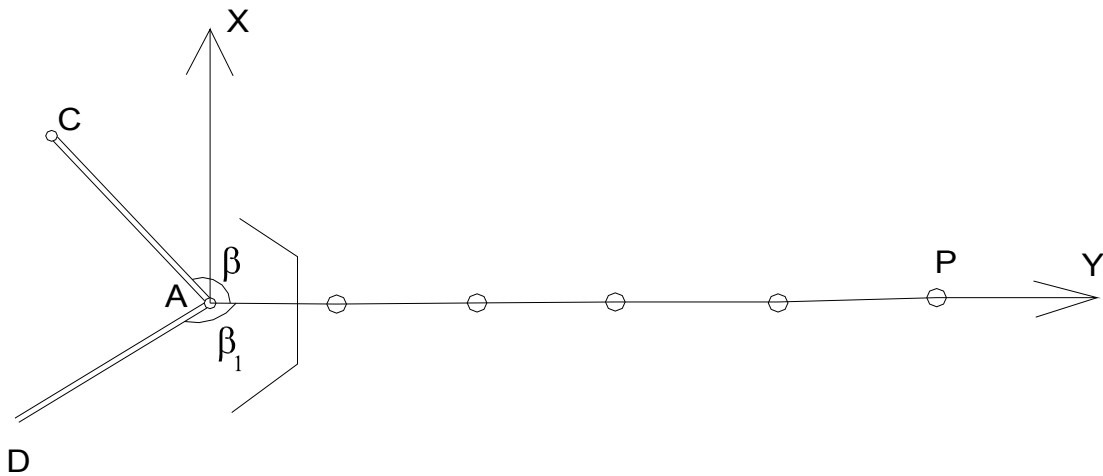
(X - Kinh tuyến trực; X_T - kinh tuyến từ; δ - độ từ thiên; α'_{AB} - phương vị cạnh AB trên mặt đất đo bằng máy kinh vĩ con quay; α_{AB} - phương vị cạnh AB tính được từ tọa độ hai điểm góc A, B ; β_1, β_2 - các góc bằng cần đo; S_1, S_2 - chiều dài các cạnh cần đo; α'_{CD} - phương vị cạnh CD dưới hầm đo bằng máy kinh vĩ con quay; α_{CD} - phương vị cần tìm của cạnh CD).

Việc ứng dụng máy kinh vĩ con quay để xác định phương vị các cạnh lưới đường chuyển trong hầm sẽ giảm thời gian và công sức cho công tác định hướng hầm, khắc phục được những khó khăn về mặt kỹ thuật khi chuyển phương vị xuống hầm bằng phương pháp truyền thống đo góc, cạnh trình bày trong [5].

3. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP THỰC HIỆN

3.1. Ước tính độ chính xác sai số hướng ngang điểm cuối đường chuyển trong hầm khi đo phương vị bằng máy kinh vĩ con quay [3]

Đường chuyển trong hầm được thiết kế như hình 3.



Hình 3. Sơ đồ lưới đường chuyển trong hầm

Từ hình 3 ta có tọa độ điểm cuối đường chuyển P được tính theo công thức:

$$X_P = X_A + S_1 \cos \alpha_1 + S_2 \cos \alpha_2 + \dots + S_n \cos \alpha_n \quad (3)$$

Vi phân toàn phần hai vế (3) ta có:

$$dx_P = dx_A + \cos \alpha_1 ds_1 - S_1 \sin \alpha_1 \cdot \frac{d\alpha_1}{\rho} + \cos \alpha_2 ds_2 - S_2 \sin \alpha_2 \cdot \frac{d\alpha_2}{\rho} + \dots + \cos \alpha_n ds_n - S_n \sin \alpha_n \cdot \frac{d\alpha_n}{\rho} \quad (4)$$

Chuyển (4) sang sai số trung phương ta có:

$$m_{X_P}^2 = \sum_{i=1}^n (\cos^2 \alpha_i) \cdot m_{S_i}^2 + \sum_{i=1}^n (S_i \sin \alpha_i)^2 \cdot \frac{m_{\alpha_i}^2}{\rho^2} \quad (5)$$

Trong công thức (5) bao gồm hai thành phần:

- Sai số dịch vị dọc:

$$m_L^2 = \sum_{i=1}^n (\cos^2 \alpha_i) \cdot m_{S_i}^2 \quad (6)$$

- Sai số dịch vị ngang:

$$m_q^2 = \sum_{i=1}^n S_i^2 (\sin^2 \alpha_i) \cdot \frac{m_{ai}^2}{\rho^2} \quad (7)$$

Giả thiết đường chuyển trong hầm (hình 3) được thiết kế với trục đường hầm trùng với trục tọa độ Y, góc phương vị $\alpha \approx 90^\circ$ và các cạnh đường chuyển xấp xỉ bằng nhau ($S_1 \approx S_2 \approx \dots \approx S_n \approx S$), khi đó sai số hướng ngang tại công thức (7) được biến đổi thành:

$$m_q = S \cdot \sqrt{n} \cdot \frac{m_{ai}}{\rho''} \quad (8)$$

Trong đó:

- m_q : Sai số dịch vị ngang;
- S: Chiều cạnh đường chuyển;
- n: Số cạnh đường chuyển;
- m_{ai} : Sai số trung phương đo phương vị.

Từ công thức (8) ta có thể ước tính được số lượng cạnh tối đa của đường chuyển trong Hầm hoặc lựa chọn máy kinh vĩ con quay phù hợp với độ chính xác theo yêu cầu.

Để làm rõ mối quan hệ giữa sai số hướng ngang điểm cuối đường chuyển (m_q), sai số phương vị đo (m_a) và chiều dài tối đa của đường chuyển trong hầm ($n.S$). Chúng tôi đã ước tính các trường hợp sau:

+ Nếu cho trước sai số hướng ngang $m_q = 9.5$ mm, cạnh đường chuyển thiết kế dài $S = 200$ m và độ chính xác của máy kinh vĩ con quay $m_a = \pm 3''$, áp dụng công thức (8) ta có:

$$\sqrt{n} = \frac{m_q \cdot \rho''}{S \cdot m_{ai}} = 3,2 \quad (9)$$

Vậy $n = 10$ cạnh, do đó chiều dài tối đa của đường chuyển là: $L = 200 \text{ m} \times 10 = 2000 \text{ m}$.

Từ kết quả tính toán cho ta thấy nếu sai số xác định góc phương vị bằng máy kinh vĩ con quay có độ chính xác đo phương vị $m_a = \pm 3''$ thì chiều dài tối đa của đường chuyển cần nhỏ hơn 2 km.

+ Nếu cho trước sai số hướng ngang cho phép $m_q = \pm 9.5$ mm, cạnh đường chuyển thiết kế dài $S = 200$ m và độ dài của đường chuyển là $L = 1000$ m ($n = 5$), áp dụng công thức (8) ta có:

$$m_a = \frac{m_q \cdot \rho''}{S \cdot \sqrt{n}} \quad (10)$$

$$m_a \approx \pm 4,4''$$

Kết quả tính toán trên cho thấy để đảm bảo sai số hướng ngang cho phép khi chiều dài đường

chuyển trong hầm là 01 km thì máy kinh vĩ con quay phải có độ chính xác $m_a \leq \pm 4,4''$.

3.2 Khảo sát độ chính xác giữa đường chuyển trong hầm thành lập bằng phương pháp đo góc, cạnh và đường chuyển trong hầm đo bằng máy kinh vĩ con quay [3]

3.2.1. Đường chuyển trong hầm đo phương vị tất cả các cạnh bằng máy kinh vĩ con quay

a. Độ chính xác hướng ngang điểm cuối đường chuyển đo góc - cạnh bằng phương pháp truyền thống [2]

$$(m_q)_{gc} = \frac{m_\beta}{\rho} [s] \cdot \sqrt{\frac{n+1,5}{3}} \quad (11)$$

b. Độ chính xác hướng ngang điểm cuối đường chuyển đo góc- cạnh bằng phương pháp truyền thống và đo góc phương vị bằng máy kinh vĩ con quay.

$$(m_q)_{kvcq} = S \cdot \sqrt{n} \cdot \frac{m_{ai}}{\rho''} \quad (12)$$

Lập tỷ số giữa hai công thức (11) và (12) ta có:

$$\frac{(m_q)_{gc}}{(m_q)_{kvcq}} = \frac{\frac{m_\beta}{\rho''} \cdot n \cdot S \cdot \sqrt{\frac{n+1,5}{3}}}{S \cdot \sqrt{n} \cdot \frac{m_{ai}}{\rho''}} = \frac{m_\beta}{m_{ai}} \cdot \sqrt{n} \cdot \sqrt{\frac{n+1,5}{3}} \quad (13)$$

- Giả thiết $m_\beta = m_{ai}$, bỏ qua giá trị 1,5 ta có:

$$\frac{(m_q)_{gc}}{(m_q)_{kvcq}} = \frac{n}{\sqrt{3}} \quad (14)$$

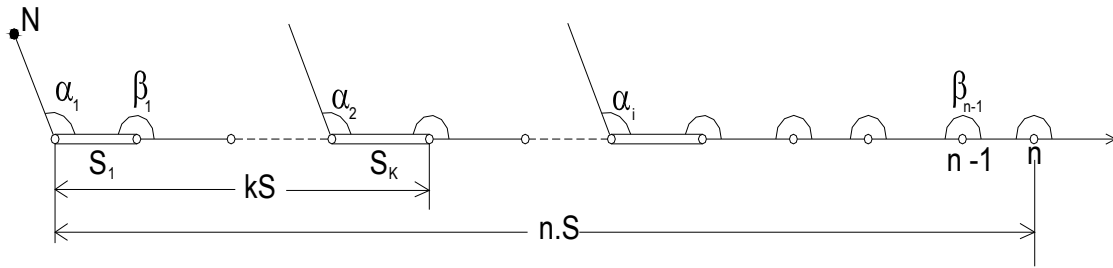
$$(m_q)_{kvcq} = \frac{\sqrt{3}}{n} \cdot (m_q)_{gc} \quad (15)$$

Từ công thức (15) cho thấy khi máy kinh vĩ con quay có độ chính xác xác định phương vị bằng độ chính xác đo góc trong đường chuyển ($m_\beta = m_{ai}$) thì sai số hướng ngang của điểm cuối đường chuyển giảm đi $\frac{\sqrt{3}}{n}$ lần. Khi n tăng lên thì sai số hướng

ngang của điểm cuối đường chuyển đo bằng máy kinh vĩ con quay giảm xuống so với phương án đo góc - cạnh trong đường chuyển trên cùng một dạng đồ hình.

Qua công thức (15) ta thấy dựa vào độ chính xác đo góc thiết kế trong đường chuyển và độ chính xác đạt được của máy kinh vĩ con quay mà ta có, chúng ta có thể đánh giá ngay được hiệu quả của công việc ứng dụng máy kinh vĩ con quay để thành lập lưới khống chế trong hầm.

3.2.2. Đường chuyền trong hầm chỉ đo phương vị một số các cạnh bằng máy kinh vĩ con quay



Hình 4. Đường chuyền trong hầm có đo thêm phương vị một số cạnh bằng kinh vĩ con quay

Nhằm mục đích kiểm tra và nâng cao độ chính xác, một số cạnh trong đường chuyền đo góc - cạnh được đo phương vị bằng máy kinh vĩ con quay. Để ước tính độ chính xác trong các đường

chuyền loại này, cần chia đường chuyền thành các phân đoạn giữa các cạnh đo phương vị. Sai số trung phương phương vị cạnh cuối đường chuyền được tính bằng công thức (16)[2]

Dịch vị ngang:

$$m_q^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} S^2 \cdot i \left[\frac{k(k-1)(2k-1)}{6} + k^2 \omega^2 - \frac{k^2(k-1+2^2 \omega^2)}{4} \right] + \frac{m_{\alpha_i}^2}{\rho^2} S^2 (n-ik)^2 + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} S^2 \frac{(n-ik)(n-ik+1)(2(n-ik)+1)}{6} \tag{16}$$

Trong đó:

- $\omega = \frac{m_\alpha}{m_\beta}$
- k: Số lượng cạnh trong mỗi tuyến đường chuyền;
- i: Số góc phương vị đo trong đường chuyền;
- m_β : Sai số đo góc bằng máy TĐĐT;
- m_α : Sai số phương vị đo bằng máy kinh vĩ con quay;
- S: Chiều dài cạnh đường chuyền.

Từ (16) giải bài toán tối ưu tìm k để $m_q = \min$, dựa vào tỷ số giữa k và n, có thể tìm được vị trí cạnh phù hợp cần đo phương vị con quay.

Khi sử dụng công thức (16) để dự tính độ chính xác hướng ngang của điểm cuối đường chuyền trong hầm cần đặc biệt lưu ý đến giá trị ω .

Trường hợp $\omega = 1$ khi $m_\alpha = m_\beta$: việc đo thêm một đến hai phương vị con quay sẽ làm tăng độ chính xác hướng ngang tương đối lớn. Nếu đo thêm một phương vị con quay thì vị trí đo thêm phương vị con quay ở khoảng 2/3 chiều dài đường chuyền là tốt nhất. Nếu đo thêm từ hai phương vị con quay trở lên thì vị trí đo phân bố đều trên toàn bộ chiều dài đường chuyền. Trong trường hợp $\omega = 4$ xảy ra khi độ chính xác của máy kinh vĩ con quay quá thấp thì tác dụng của việc đo thêm phương vị con quay để nâng cao độ chính xác

hướng ngang của điểm cuối đường chuyền sẽ rất nhỏ, khi đó cần xem xét việc lựa chọn thiết bị đo cho phù hợp nhằm nâng cao hiệu quả công tác định hướng hầm trong thi công xây dựng các công trình hầm ở nước ta.

4. KẾT LUẬN

Từ kết quả phân tích về lý thuyết và khảo sát thực nghiệm độ chính xác lưới đường chuyền trong hầm, chúng tôi rút ra một số kết luận sau đây:

- Trong điều kiện đặc thù của công tác thành lập lưới khống chế trong hầm, việc nghiên cứu ứng dụng máy kinh vĩ con quay để định hướng hầm trong thi công xây dựng đường hầm tàu điện ngầm bằng công nghệ TBM sẽ nâng cao độ chính xác, giảm thời gian và công sức cho công tác định hướng hầm, khắc phục được những khó khăn về mặt kỹ thuật thường gặp khi dùng phương pháp truyền thống đo góc cạnh.

- Khi đường hầm được thi công xây dựng bằng tổ hợp máy đào hầm TBM với yêu cầu độ chính xác định hướng thông hầm rất cao, do vậy nên đo phương vị bằng máy kinh vĩ con quay cho tất cả các cạnh trong đường chuyền trong hầm nhằm nâng cao độ chính xác định hướng hầm, góp phần nâng cao hiệu quả thi công xây dựng công trình hầm ở nước ta.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Võ Ngọc Dũng và nnk (2022). *Ứng dụng máy kinh vĩ con quay trong công tác đo chuyên phương vị cho lưới khống chế tọa độ phẳng mở tham Núi Béo*. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất tập 63, Kỳ I (2022) Tr 73-80.
- [2] Phan Văn Hiến (2014), “*Trắc địa công trình đường hầm*”, Nxb Xây dựng, Hà Nội.
- [3] Diêm Công Huy (2018), “*Nghiên cứu các giải pháp nâng cao hiệu quả định hướng đường hầm trong thi công xây dựng các công trình ngầm ở Việt Nam*”, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Mỏ - Địa chất Hà Nội.
- [4] Diêm Công Huy, Trần Việt Tuấn (2018). *Nghiên cứu ứng dụng lưới đường chuyên kép trong thi công xây dựng hầm xe điện ngầm bằng công nghệ TBM*. Hội nghị khoa học quốc tế kỷ niệm 55 năm thành lập Viện KHCN Xây dựng, tại TP. Hà Nội, Việt Nam.
- [5] Trần Việt Tuấn, Diêm Công Huy (2017). *Nghiên cứu giải pháp kỹ thuật chuyên tọa độ và phương vị xuống hầm qua giếng đứng*. Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ, số 32, (06-2017) Tr 54-58.
- [6] Ingemar L. (2006), *Use of gyrotheodolite in underground control network*. Royal Institute of Technology (KTH) School of Architecture and the Built Environment 100 44 Stockholm, Sweden.