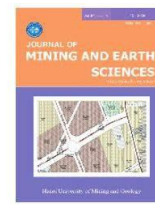




Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <https://jmes.humg.edu.vn>



Factors affecting overbreak in large tunnels excavated by the drilling and blasting method



Thuc Viet Chu*, Canh Van Dao

Electric Power University, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:

Received 20th Jan. 2026

Revised 10th May 2026

Accepted 4th Jun. 2026

Keywords:

Drilling and blasting,
Fracture,
Large tunnel,
Overbreak,
Rock mass.

ABSTRACT

In underground construction, especially when excavating through hard rock, the drilling and blasting method is preferred. The disadvantage of this method is the frequent occurrence of exceeding the designed excavation area (overbreak). This is a significant concern for both construction managers and contractors, as it affects economic and technical indicators, including the volume of drilling, excavating, and support work, as well as the durability and stability of the structure over time. Specifically, overbreak not only increases the volume of excavation and transportation but, more importantly, increases the volume of concrete reinforcement for the tunnel lining and shotcrete, affecting the working conditions of the lining and surrounding rock mass. Overbreak in underground construction depends on many different factors. The factors can be divided into objective and subjective elements. Objective factors include the geological conditions of the rock mass, encompassing its properties, fracture orientation, and evaluation indices. Subjective factors focus on the drilling technology and excavation length. The results show that rock mass quality, such as the RMR index, fracture characteristics, and excavation length, significantly influences the overbreak coefficient.

Copyright © 2026 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author

E - mail: thuccv@epu.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2026.67(5).07



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang diện tử: <https://tapchi.humg.edu.vn>



Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến thừa tiết diện trong thi công hầm kích thước lớn bằng phương pháp khoan - nổ mìn

Chu Việt Thức*, Đào Văn Canh

Trường Đại học Điện lực, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 20/1/2026

Sửa xong 10/5/2026

Chấp nhận đăng 4/6/2026

Từ khóa:

Hầm tiết diện lớn,

Khe nứt,

Khoan nổ mìn,

Khối đá,

Thừa tiết diện.

TÓM TẮT

Trong thi công xây dựng công trình ngầm, đặc biệt là khi thi công đào qua khối đá cứng, phương pháp khoan nổ mìn được ưu tiên sử dụng. Nhược điểm của phương pháp này là luôn xảy ra hiện tượng đào vượt diện tích thiết kế. Đây là một vấn đề mà cả các nhà quản lý xây dựng và những người thi công đều hết sức quan tâm vì nó ảnh hưởng lớn đến các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật như khối lượng thi công khoan đào, chống giữ, và độ bền, độ ổn định của công trình theo thời gian. Cụ thể, khi tiết diện đào vượt nhiều so với tiết diện thiết kế không những làm tăng các chi phí khoan đào, tăng khối lượng xúc bốc, vận chuyển mà đáng kể hơn là làm tăng khối lượng gia cố bê tông vỏ hầm, bê tông phun và ảnh hưởng tới trạng thái làm việc của vỏ chống và khối đá xung quanh. Đào vượt tiết diện thiết kế khi thi công công trình ngầm phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố khác nhau. Có thể chia ra các yếu tố khách quan và yếu tố chủ quan, yếu tố khách quan như điều kiện địa chất của khối đá bao gồm tính chất, thể nằm của khe nứt và các chỉ số đánh giá của khối đá được quan tâm, trong khi đó yếu tố chủ quan tập trung phân tích về yếu tố công nghệ khoan nổ mìn và chiều sâu bước đào. Kết quả nghiên cứu cho thấy, chất lượng khối đá như chỉ số RMR, tính chất của hệ khe nứt, và chiều dài bước đào có ảnh hưởng đáng kể đến giá trị hệ số thừa tiết diện.

© 2026 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

*Tác giả liên hệ

E - mail: thuccv@epu.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2026.67(5).07

1. Đặt vấn đề

Hệ số thừa tiết diện (TTD) μ là tỉ số giữa diện tích hầm sau khi đào so với diện tích hầm sau thiết kế (Hình 1), được xác định bởi công thức:

$$\mu = \frac{S_1}{S_2} \quad (1)$$

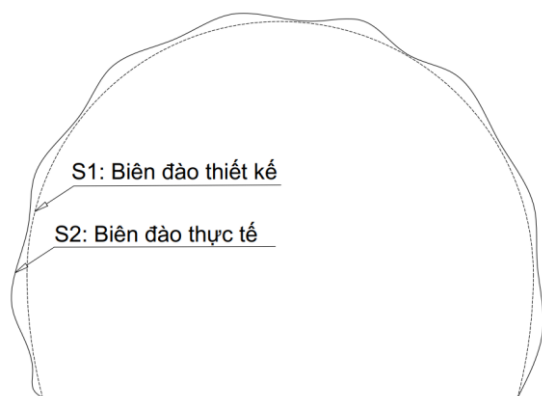
Trong đó: S_1 - diện tích tiết diện hầm sau khi đào (m^2); S_2 - diện tích tiết diện hầm theo thiết kế (m^2).

Nếu hệ số thừa tiết diện càng lớn thì khối lượng đất đá phải xúc bốc càng lớn, chi phí bù bê tông cho vỏ chống cố định càng nhiều dẫn đến giá thành công trình càng cao, tốc độ đào hầm giảm và điều quan trọng là tính ổn định của công trình có thể bị giảm.

1.1. Tình hình đào hầm thừa tiết diện tại một số nước trên thế giới

Giá trị hệ số thừa tiết diện trong thi công hầm thông thường phụ thuộc vào chất lượng của vùng đất đá đường hầm đào qua, biện pháp thi công hầm (khoan, đào).

Thông thường khi thi công hầm bằng biện pháp khoan nổ mìn thì hệ số thừa tiết diện lớn hơn nhiều so với việc dùng máy đào hầm.



Hình 1. Biên đào hầm theo thiết kế và thực tế.

Bảng 1. Hệ số đào vượt biên thiết kế khi thi công hầm thủy công một số nước (Đào và nnk, 1999).

Nước	Độ sâu vượt thiết kế (m)
Nhật	$\leq 0,08 \div 0,1$
Mỹ	$\leq 0,2$
Nga	$\leq 0,1 \div 0,2$
Bungari	$\leq 0,3$
Tây Ban Nha	$\leq 0,25$
Các nước khác	$\leq 0,15 \div 0,16$

Giá trị hệ số thừa tiết diện được thể hiện ở từng giai đoạn cũng có những khác nhau. Ví dụ tại Liên Xô (cũ) ChuII-III-11-17 giá trị μ cho phép là $1,03 \div 1,07$ (giá trị nhỏ cho đá có hệ số kiên cố lớn và ngược lại). ChuII-III-44-77 lại quy định theo độ sâu vượt quá đường biên thiết kế và cho phép từ $10 \div 20$ cm. Độ sâu đào vượt thiết kế cho phép ở một số nước khác được thống kê trong Bảng 1.

1.2. Tình hình đào hầm thừa tiết diện ở Việt Nam

1.2.1. Đào vượt khi thi công hầm ở nhà máy thủy điện Hòa Bình

Cho đến thời điểm thi công hầm ở nhà máy thủy điện Hòa Bình (những năm 80 thế kỷ trước) ở Việt Nam chưa quy định chính thức về các chỉ tiêu đào vượt các đường hầm.

Vì vậy cần có quy định tạm thời để thi công công trình.

Bộ Xây dựng đã phê duyệt quy định tạm thời:

- Khi đào hầm có tiết diện $\leq 40 m^2$ thì hệ số đào vượt cho phép $K = 1,16$;
- Khi đào hầm có tiết diện $40 m^2 \leq S \leq 60 m^2$ thì hệ số đào vượt cho phép $K = 1,10$;
- Khi đào hầm có tiết diện $S > 60 m^2$ thì hệ số đào vượt cho phép $K = 1,09$.

Và kết quả thực hiện đào vượt các hầm tại các công trình thủy điện Hòa Bình được thể hiện ở Bảng 2 (Phan, 1999).

1.2.2. Đào vượt khi thi công hầm ở nhà máy thủy điện Yaly

Trong quá trình khảo sát đánh giá hệ số thừa tiết diện của một số hầm tại thủy điện Yaly (từ tháng 4 năm 1995 đến tháng 5 năm 1997) cho thấy hệ số thừa tiết diện tại các hầm tuyến năng lượng thủy điện Yaly được thể hiện ở Bảng 3 (Đào và nnk, 1999).

Bảng 2. Tổng hợp chỉ tiêu đào vượt các hầm có tiết diện lớn (Đào toàn tiết diện).

Loại tiết diện hầm (m ²)	Số lượng thống kê	Số mét dài (m)	Hệ số thừa tiết diện μ	Độ sâu đào vượt ΔR (m)
$\frac{22,8 \div 30}{23,5}$	13	1262	$\frac{1,11 \div 1,5}{1,26}$	$\frac{0,09 \div 0,61}{0,35}$
$\frac{32,5 \div 40}{36,0}$	14	2316	$\frac{1,09 \div 1,39}{1,25}$	$\frac{0,14 \div 0,64}{0,41}$
$\frac{43,6 \div 56,6}{51,6}$	11	810	$\frac{1,10 \div 1,30}{1,21}$	$\frac{0,2 \div 0,56}{0,41}$
$\frac{61,75 \div 163}{82,7}$	9	2137	$\frac{1,17 \div 1,26}{1,21}$	$\frac{0,42 \div 0,59}{0,5}$

Bảng 3. Giá trị hệ số thừa tiết diện tại các hầm tuyến năng lượng thủy điện Yaly (Đào và nnk, 1999).

Tên công trình	Tiết diện đào theo thiết kế (m ²)	Hệ số thừa tiết diện
Hầm phụ số 1 (PIB - 1)	25,18	1,134
Hầm phụ số 2 (PIB - 2)	48,88	1,152
Hầm phụ số 3, số 4 (PIB - 3,4)	59,4	1,173
Hầm dẫn nước DT-1	42,51(40,1)	1,222(1,236)
Hầm dẫn nước DT-2	42,51	1,232
Hầm dẫn dòng		1,16
Trung bình		1,188

Bảng 4. Giá trị hệ số thừa tiết diện tại nhánh hầm tây hầm phía nam Đèo Cả.

STT	Kiểu gia cố	Bước đào (m)	Diện tích (m ²)	Hệ số thừa tiết diện
1	DIII	0,6	52,842	1,020
		0,9	52,842	1,062
		1,0	52,842	1,084
		1,5	52,842	1,093
2	CI	<1,5	49,260	1,070
		<2,0	49,260	1,090
		<2,0	79,413	1,103
		<2,5	49,260	1,104
		<2,5	79,413	1,105
		<3,0	49,26	1,124
		<3,0	79,413	1,107
		<3,5	49,26	1,110
		<3,5	79,413	1,115
		<3,9	65	1,094
3	CII_L	<3,9	79,413	1,109
		<3,9	79,413	1,109
3	CII	<1,5	79,413	1,133
4	CII_L	1,2	67,55	1,167
5	B	<2,5	63,839	1,063
		<2,5	78,264	1,116
		<3,0	48,384	1,103
		<3,0	65	1,064
		<3,0	78,264	1,110
		<3,5	48	1,114
		<3,5	78,26	1,118
		<4,0	78,26	1,117
6	B_L	<2,5	104	1,082
		<3,0	104	1,097
		<3,5	104	1,097

1.2.3. Đào vượt khi thi công hầm đường bộ Đèo Cả

Tại nhánh hầm tây hầm phía nam Đèo Cả thuộc dự án hầm Đèo cả (2014 đến 2017), đào hầm bằng công nghệ khoan nổ mìn. Khi khoan các lỗ mìn sử dụng xe khoan 2 cần Furukawa, hộ chiếu nổ mìn sử dụng đột phá dạng nêm (nêm đơn, nêm kép phụ thuộc vào chiều dài bước đào), các lỗ mìn biên được nạp phân đoạn không khí sử dụng dây nổ (12 g/m) để truyền nổ, hộ chiếu sử dụng vi sai phi điện nên độ an toàn, kiểm soát tốt, và hiệu quả cao. Hệ số thừa tiết diện sau nổ mìn được thống kê trong Bảng 4.

2. Các yếu tố ảnh hưởng đến giá trị hệ số thừa tiết diện trong đào hầm tiết diện lớn

Giá trị đào vượt tiết diện thiết kế khi thi công hầm phụ thuộc vào rất nhiều các yếu tố. Tùy thuộc vào bản chất các yếu tố ảnh hưởng người ta phân chia thành (Hình 2):

- Các yếu tố khách quan (nguyên nhân khách quan);
- Các yếu tố chủ quan (nguyên nhân chủ quan).

Các yếu tố khách quan là các yếu tố bất khả kháng nằm ngoài ý chí của con người.

- Các yếu tố về công nghệ, thiết bị khoan;
- Các yếu tố về địa chất, nứt nẻ, không đồng nhất, không đẳng hướng của khối đá;
- Các rệu rã về cơ khí của thiết bị khoan gương.

Các yếu tố chủ quan là các yếu tố do con người trong quá trình thi công hầm bao gồm:

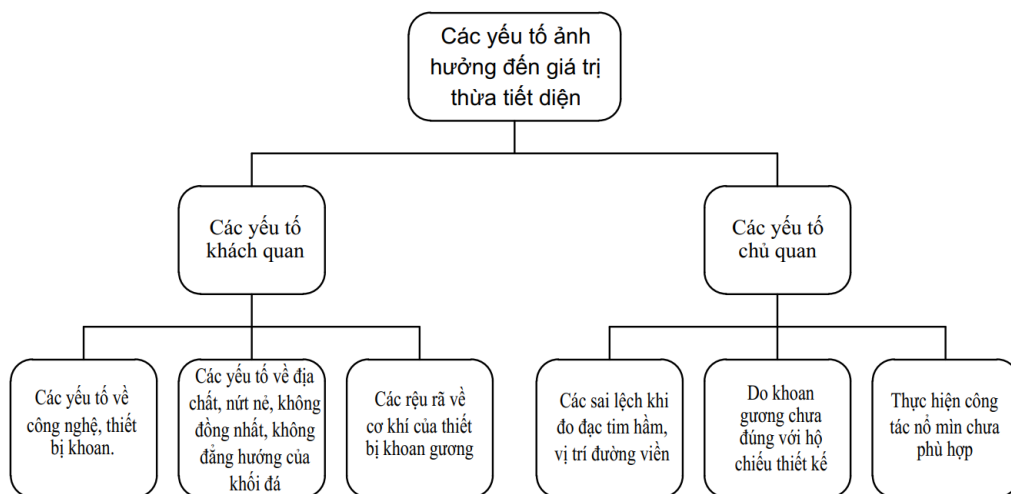
- Các sai lệch khi đo đạc tìm hầm, vị trí đường viền;
- Do khoan gương chưa đúng với hộ chiếu thiết kế;
- Thực hiện công tác nổ mìn chưa phù hợp.

2.1. Ví dụ về phân tích các yếu tố về công nghệ, thiết bị khoan gương hầm

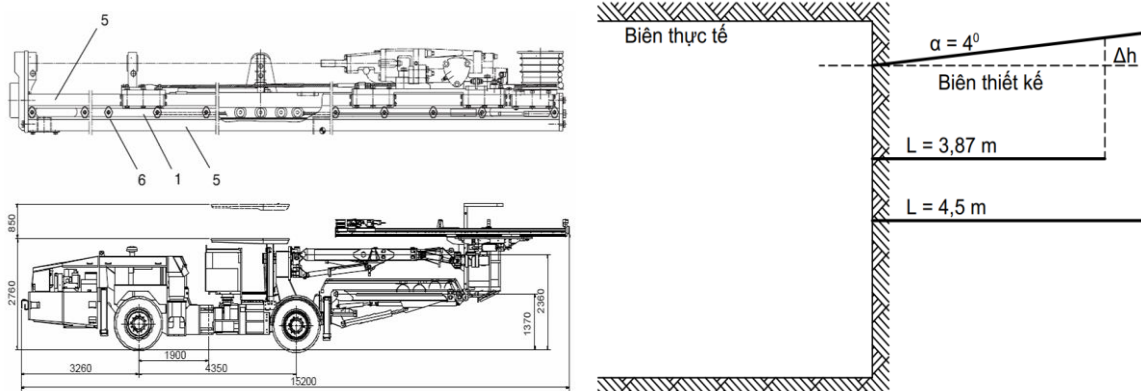
Thiết bị khoan gương hầm tiết diện lớn thường sử dụng các giàn khoan Boomer – 352 (Thụy Điển) hoặc Tamrock (Phần Lan) hay Furukawa (Nhật).

Chiều sâu thiết kế khoan $L = 4,5$ m hoặc $L = 5,0$ m.

Góc nghiêng khoan thường là 4° so với biên thiết kế (hoặc trục đường hầm) (Hình 3).



Hình 2. Các yếu tố ảnh hưởng đến giá trị hệ số thừa tiết diện trong đào hầm.



Hình 3. Ảnh hưởng của thiết bị khoan đến giá trị hệ số thừa tiết diện.

Chiều sâu nổ được:

$$L' = L \cdot \eta \quad (2)$$

Trong đó: L - chiều sâu lỗ mìn theo thiết kế (m); η - hệ số sử dụng lỗ mìn. Với $L = 4,5$ m và $\eta = 0,86$ thì $L' = 4,5 \cdot 0,86 = 3,87$ m.

Phần nổ lẹm tính từ biên thiết kế Δh (cm) được xác định như sau:

$$\Delta h = L' \cdot \tan 4^\circ = 0,2706 \text{ m} = 27 \text{ cm} \quad (3)$$

Phần nổ lẹm trung bình $\Delta h'$ (cm):

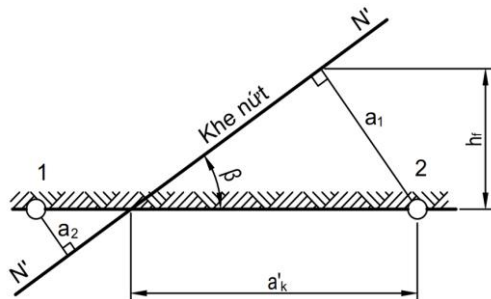
$$\Delta h' = \frac{\Delta h}{2} = 13,5 \text{ cm} \quad (4)$$

2.2. Phân tích các yếu tố do địa chất hàm tiết diện lớn

Yếu tố do địa chất hàm có rất nhiều vì khối đá là môi trường không đồng nhất và dị hướng điển hình.

Tính không đồng nhất và dị hướng của khối đá được đặc trưng bởi các hệ khe nứt, các đứt gãy, phay phá và các mặt phân lớp, phân phiến và đặc điểm phân bố của chúng trong khối đá.

Trong bài báo này chúng tôi giới hạn xem xét ảnh hưởng của đặc điểm cấu trúc địa chất của khối đá tới sự sụt lở gây nên thừa tiết diện khi đào hầm có hình dạng tiết diện khác nhau. Trong các phương pháp phân loại khối đá khác nhau đang được sử dụng hiện nay như Bieniawski (1977), Bulychiev (1989) thì các tham số chính được kể đến là mật độ nứt nẻ (số hệ khe nứt và số lượng khe nứt). Các góc của bề mặt khe nứt so với trục đường hầm, trạng thái của bề mặt khe nứt và đặc điểm cơ lý của các chất lấp nhét. Các yếu tố này là những tham số chính quyết định đặc điểm cấu trúc của khối đá theo các khe nứt có độ mở lớn hơn 0,02 mm có ảnh hưởng lớn tới hiệu quả khoan nổ



Hình 4. Nổ mìn tạo biên trong khối đá có khe nứt.

mìn: nó hạn chế sự lan truyền sóng nổ do có sự phản xạ và khúc xạ sóng nổ trên các mặt khe nứt.

Ta xét bài toán giải thích cho một khe nứt xuất hiện giữa 2 lỗ khoan trong môi trường đồng nhất đẳng hướng (Hình 3).

Trong môi trường đồng nhất đẳng hướng thì đường phá hủy xác suất đá giữa 2 lỗ khoan biên (hay là đường kháng nhỏ nhất theo biên chu tuyến) trùng lặp với đường biên khoan

Trường hợp nổ mìn trong khối đá không đồng nhất, nứt nẻ được thể hiện ở Hình 4.

Khi đó mặt phá hủy sẽ xảy ra theo đường kháng nhỏ nhất a_1 và a_2 và theo bề mặt khe nứt đã có N tạo thành một đường gấp khúc dạng răng cưa a_2, N, a_1 . Khi đó chiều sâu phá hủy h_f là:

$$h_f = a'_k \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta \quad (5)$$

Như với chiều sâu vùng phá hủy chủ yếu phụ thuộc vào góc β tạo bởi bề mặt khe nứt và mặt biên hàm

- Khi $\beta = 0$ khe nứt song song với mặt biên và lúc đó h_f bằng bán kính phá hủy xung quanh lỗ mìn;

- Khi $\beta = 90^\circ$ khe nứt vuông góc với mặt biên hàm thì đường phá hủy là đường nối giữa 2 lỗ khoan;

- Khi $\beta = 45^\circ$ h_f có giá trị cực đại và $h_f \approx 0,5 \cdot a'_k$.

Trong khối đá tồn tại nhiều hệ khe nứt khác nhau làm cho độ bền của khối đá giảm. Sự giảm bền của khối đá do mạng khe nứt được thể hiện qua hệ số giảm yếu cấu trúc λ (Bảng 5) - hệ số này phụ thuộc vào mật độ khe nứt. Ý nghĩa chủ đạo của hệ số này thể hiện sự giảm bền của khối đá khi nứt nẻ giảm λ lần so với khối đá không nứt nẻ. Như vậy độ giảm bền của khối đá do nứt nẻ sau nổ mìn chiều sâu vùng sụt lở vượt qua ngoài vùng biên thiết kế không còn là h_f mà còn sâu rộng hơn với giá trị h_{ft} là chiều sâu vùng sụt lở thực tế sau nổ mìn hay đào vượt thiết kế trong thi công hầm và được tính theo công thức:

$$h_{ft} = \frac{h_f}{\lambda} \quad (6)$$

Hình 5 thể hiện mối quan hệ giữa hệ số lẹm và hướng khe nứt trong khối đá trên biên, kết quả cho thấy hệ số lẹm tăng tương ứng với góc khe nứt tăng và hệ số lẹm đạt giá trị lớn nhất khi góc khe nứt bằng 45° và hệ số lẹm giảm dần khi góc khe nứt tiếp tục tăng.

Bảng 5. Giá trị hệ số giảm yếu cấu trúc của khối đá nứt nẻ.

TT	Mật độ khe nứt	Hệ số λ
1	<1	$0,8 \div 1,0$
2	$1 \div 5$	$0,5 \div 0,8$
3	$5 \div 8$	$0,2 \div 0,5$
4	$8 \div 15$	0,2
5	>15	-

Singh và nnk (2005) đã đi đến kết luận rằng, khi góc tạo bởi phương của khe nứt và bề mặt biên đào công trình nhỏ hơn 60° , sẽ gây ra những ảnh hưởng bất lợi tới kết quả tạo biên công trình. Khi góc này nhỏ hơn 15° , kết quả tạo biên sẽ không cao hơn so với biện pháp nổ mìn thông thường.

Trên Hình 6 và Hình 7 minh họa ảnh hưởng của hướng khe nứt đến khả năng phá hủy của đá liên quan đến năng lượng nổ cần sử dụng và qua đó là trị số đào lẹm (Johansen và Mathiesen, 2000; Worsey và nnk, 1981). Theo đó, khi đường phương của mặt khe nứt tạo với trục đường hầm một góc nằm trong khoảng $0^\circ \div 90^\circ$ thì đá dễ dàng bị phá vỡ ở vị trí bên tay trái và tại đó cần sử dụng năng lượng nổ ít hơn.

2.2.1. Độ mở khe nứt

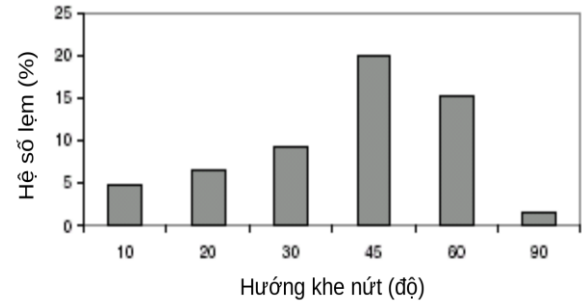
Worsey và Qu (1987) đã chỉ ra rằng khi độ mở khe nứt tăng sẽ dẫn tới làm giảm chất lượng cuối cùng của đường biên đào. Các khe nứt mở có thể ngăn hoặc dẫn tới hình thành những mạng khe nứt truyền giữa hai lỗ mìn biên kề nhau. Khi khép nứt kín và có lấp nhét, gắn kết lại thì chúng sẽ không gây tác động tạo ra lẹm trên biên công trình.

Tariq và Worsey (1996) qua nhiều quan sát đã chỉ ra rằng nếu độ mở khe nứt bằng 3 mm, khe nứt sẽ đóng vai trò như một mặt phẳng tự do, do đó gây phản xạ ngược trở lại năng lượng nổ và không có tác động phá vỡ đá, hình thành đường biên đào.

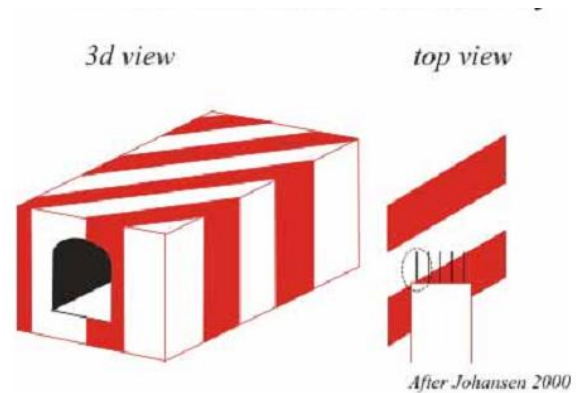
2.2.2. Mật độ khe nứt

Khi nổ mìn trong khối đá nứt nẻ mạnh, cần luôn nhớ rằng khoảng cách giữa các lỗ mìn không được lớn hơn khoảng cách giữa các khe nứt. Nếu giữa 2 lỗ mìn có chứa 2÷3 mặt phẳng khe nứt thì sẽ không thể tạo ra đường biên đào có chất lượng tốt.

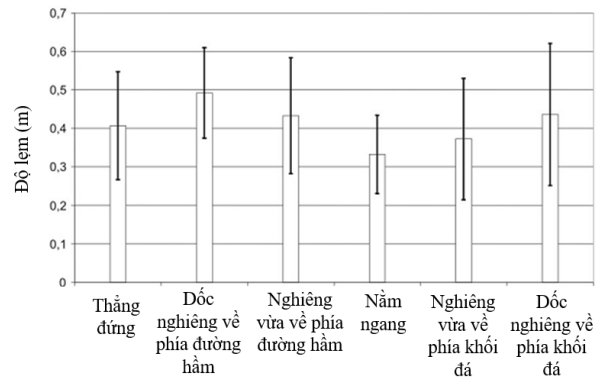
2.2.3. Chất lấp nhét trong khe nứt



Hình 5. Hệ số đào lẹm phụ thuộc vào hướng của khe nứt trong khối đá trên biên (Singh và nnk, 2005).



Hình 6. Ảnh hưởng của hướng khe nứt đến khả năng phá nổ đá (Johansen và Mathiesen, 2000).

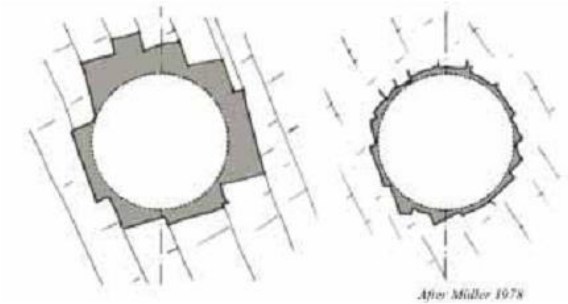


Hình 7. Thống kê mức độ lẹm theo góc dốc mặt phân cách khối đá (Worsey và nnk, 1981).

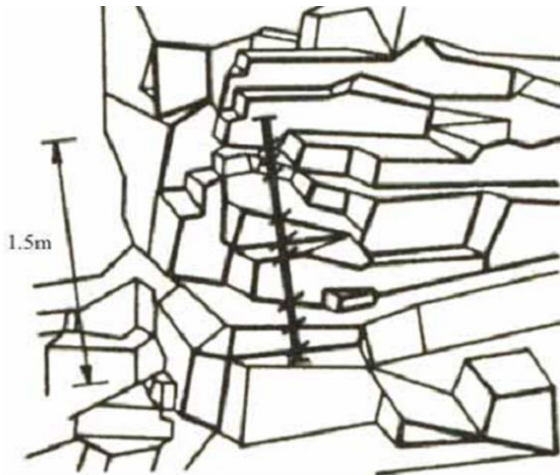
Vật liệu lấp nhét trong khe nứt làm thay đổi đặc tính truyền các dạng sóng (ví dụ sóng nổ) khi đi qua khe nứt. Khi bề dày chất lấp nhét (độ mở khe nứt) nhỏ, phần năng lượng bị mất khi truyền qua khe nứt giảm và ngược lại, đặc biệt nếu khe nứt gần với mặt tự do. Chất lấp nhét sét trong khe nứt gây ra hiện tượng trương nở làm giảm chất

lượng khối đá dẫn tới hiện tượng đào vượt hoặc đào thiếu. Nếu độ mở khe nứt nhỏ và khe nứt có chất lấp nhét cứng, ổn định, độ lẹm khi đào sẽ chỉ phụ thuộc vào góc giữa phương của khe nứt và lỗ mìn.

2.2.4. Chỉ tiêu RQD

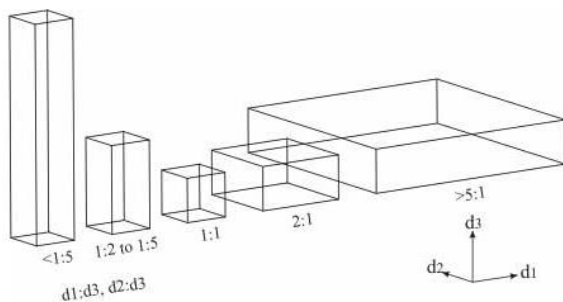


Hình 8. Sự khác biệt mức độ đào lẹm trên biên hầm do ảnh hưởng của tính liên tục của khe nứt (Müller, 1978).



Mật độ khe nứt = $9/1,5 = 6$ (kn/m)
Khoảng cách khe nứt = $1,5/9 = 0,17$ m

Hình 9. Khoảng cách giữa các khe nứt trong (Müller, 1970).



Hình 10. Hình dạng khối nứt.

Khi khối đá có chỉ số RQD < 70%, công tác nổ mìn thường gây ra những tác động bất lợi (Singh, 1972). Giá trị RQD < 50% sẽ dẫn tới phải giảm khoảng cách giữa các lỗ mìn, giảm mật độ nạp thuốc, sử dụng các lỗ mìn trống để tạo ra đường biên đào có chất lượng tốt.

2.2.5. Tính liên tục của khe nứt

Trong thực tế, khe nứt thường không liên tục mà đứt quãng theo hướng dọc của chúng. Điều này dẫn tới sự khác biệt mức độ đào lẹm trong thi công đường hầm như ví dụ trên Hình 8.

Để đánh giá định lượng sự khác biệt này cần dựa vào: Mức độ nứt nẻ của hệ khe nứt (Hình 9), hình dạng khối nứt (Hình 10) và mức độ liên tục của khe nứt.

Mức độ liên tục của khe nứt (x) được định nghĩa là tỷ số giữa diện tích bề mặt khe nứt thực trên tổng diện tích bề mặt khu vực đo. Giá trị của nó nằm trong khoảng từ 0 tương ứng với đá liền khối không nứt nẻ đến 1 tương ứng với khối đá có chứa hệ thống khe nứt liên tục trên suốt chiều dài khối đá.

Trên Hình 11 thể hiện quy luật ảnh hưởng của mật độ và mức độ liên tục khe nứt đến độ bền khối đá. Theo đó, khi khoảng cách giữa các khe nứt trong một hệ quá lớn, lớn hơn kích thước đường hầm, độ lẹm bằng 0. Khi khoảng cách này quá nhỏ, độ lẹm tiến tới 0 nhưng khả năng sụt lở đá do cấu trúc tăng lên. Mức độ lẹm lớn nhất đạt được khi khoảng cách giữa các khe nứt đạt giá trị trung bình.

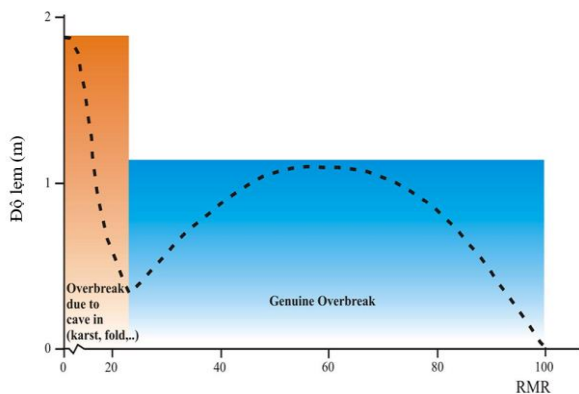
Đá có độ bền càng lớn (σ_n) thì càng đòi hỏi nhiều năng lượng nhận được khi nổ thuốc nổ để phá vỡ. Nếu đá có độ bền thấp do các nguyên nhân

Mức độ liên tục		Khối đá nứt nẻ			Khối đá cả nứt
		Khe nứt thưa	Khe nứt dày	Khe nứt rất dày	
		1000	100	10	1
		0,1 d (cm)			
Khối đá liền khối	0				
Mức độ liên tục thấp	0,2	Liên khối hoàn toàn			
Mức độ liên tục trung bình	0,4	Tương đối liền khối			
Mức độ liên tục cao	0,6	Nứt nẻ	Nứt nẻ		
Liên thông hoàn toàn	0,8			Nứt mạnh	Nứt nẻ hoàn toàn
	1				

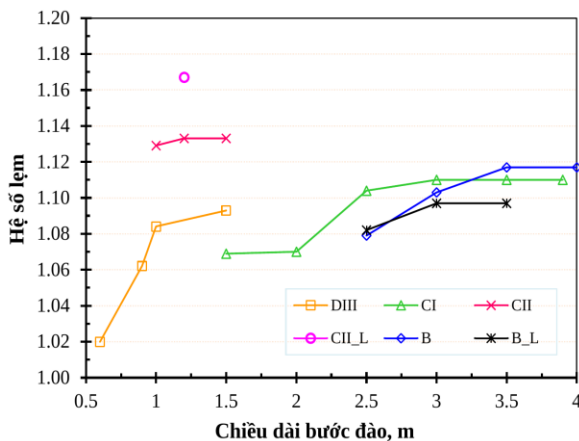
Hình 11. Quy luật ảnh hưởng của mật độ và mức độ liên tục của khe nứt đến độ bền khối đá.

như phong hóa, biến chất thành đá yếu hơn,... thì khả năng tạo ra đường biên đào sát với đường biên thiết kế càng lớn. Khi độ bền $\sigma_n < 25$ MPa, đá dễ dàng bị phá vỡ dẫn đến độ lẹm thấp, đặc biệt nếu mức độ nứt nẻ thấp. Tuy nhiên, nếu độ bền của đá thấp, độ đào lẹm thấp thì ngược lại rủi ro phá hủy khối đá hay đào lẹm thứ sinh và lẹm do đặc điểm cấu trúc lại tăng. Ngược lại khi $\sigma_n > 25$ MPa, cần sử dụng nhiều thuốc nổ hơn để phá vỡ đá sẽ làm độ lẹm tăng, đặc biệt nếu mức độ nứt nẻ cao.

Trong thực tế, chất lượng khối đá thường được đánh giá thông qua các chỉ tiêu tổng hợp có chú ý tới nhiều thông số của môi trường khối đá như RMR, Q. Trên Hình 12 giới thiệu kết quả tổng kết ảnh hưởng của chỉ số chất lượng khối đá RMR đến mức độ đào lẹm chính là khoảng đào vượt của biên đào thực tế về phía khối đá so với biên đào thiết kế khi thi công đường hầm.



Hình 12. Tương quan giữa mức độ đào lẹm và chất lượng khối đá (RMR).



Hình 13. Ảnh hưởng của chiều dài bước đào và tính chất khối đá đến hệ số thừa tiết diện.

Hình 13 trình bày ảnh hưởng của chiều dài bước đào, tiết diện gương đào và tính chất của khối đá đến hệ số thừa tiết diện. Kết quả thống kê cho thấy, khi xét cùng một kiểu gia cố thì hệ số thừa tiết diện có xu hướng tỷ lệ thuận với chiều dài bước đào. Có nghĩa là khi chiều dài bước đào tăng lên dẫn đến hệ số thừa tiết diện cũng tăng, xu hướng tăng của hệ số thừa tiết diện với kiểu gia cố khác nhau cũng khác nhau. Trong phần tiếp theo sẽ trình bày chi tiết các yếu tố ảnh hưởng đến giá trị hệ số thừa tiết diện trong đào hầm tiết diện lớn.

Từ những phân tích nêu trên có thể rút ra một số nhận xét sau:

- Mức độ đào lẹm trong thi công hầm không hoàn toàn tỷ lệ nghịch với chất lượng khối đá (ví dụ đánh giá theo chỉ tiêu RMR (Bieniawski, 1977);
- Đường hầm đào trong khối đá có chỉ số RMR thấp thường xảy ra hiện tượng đào lẹm do cấu trúc (cave-in);
- Mức độ đào lẹm trong thi công hầm chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố như điều kiện nước ngầm, trường ứng suất nguyên sinh, độ bền của đá, chiều dày phân lớp đá, số hệ khe nứt, độ bền mặt khe nứt, hướng khe nứt tương quan với trục đường hầm, chất lấp nhét trong khe nứt,... Các thông số này nhìn chung có ảnh hưởng tương hỗ với nhau và tới mức độ đào lẹm;

- Lẹm là hiện tượng xảy ra trong không gian ba chiều vì vậy cần đặc biệt chú ý tới tương quan giữa hướng hệ thống khe nứt với trục đường hầm.

Một số quy tắc có thể rút ra liên quan đến lẹm do điều kiện khối đá:

- Trong điều kiện khối đá có khe nứt liên tục ($x=1$), khối nứt hình lập phương, độ bền đá lớn, trị số lẹm trung bình xấp xỉ bằng với khoảng cách trung bình giữa các khe nứt;
- Trong điều kiện khối đá có khe nứt liên tục ($x=1$), khối nứt hình lập phương, độ bền đá thấp, trị số lẹm trung bình xấp xỉ bằng một nửa khoảng cách trung bình giữa các khe nứt;
- Trong điều kiện khối đá có khe nứt liên tục ($x=1$), độ bền đá lớn, trị số lẹm trung bình tại nóc xấp xỉ bằng 1/4 chiều dài khe nứt tại nóc, trị số lẹm trung bình tại nền xấp xỉ bằng 1/12 chiều dài khe nứt tại nóc;
- Trong điều kiện khối đá có khe nứt tương đối liên tục ($0,7 < x < 1$), độ bền đá lớn, trị số lẹm trung bình được dự đoán bằng cách nội suy tuyến tính độ lẹm tại giá trị $x=1$ và $x < 0,7$;

- Trong điều kiện khối đá có khe nứt ít liên tục ($x < 0,7$), khối đá hình lập phương, độ bền đá lớn, chỉ xuất hiện một phần lẹm nhỏ thường là vài cm.

Trên Hình 14 tổng kết ảnh hưởng của một số điều kiện khối đá đến đào lẹm khi thi công đường hầm cùng với một số nhận xét liên quan.

- Nếu góc dốc của mặt phân cách thay đổi từ phương ngang đến thẳng đứng, mức độ và vị trí lẹm cũng thay đổi. Lẹm lớn nhất xảy ra khi các lớp đá có góc nghiêng càng lớn;

- Nếu độ bền của khối đá lớn và khối đá phân lớp nằm ngang thì lẹm không xuất hiện xung quanh đường hầm tiết diện chữ nhật;

- Nếu độ bền khối đá thấp, lẹm cấu trúc xuất hiện trong tất cả các trường hợp;

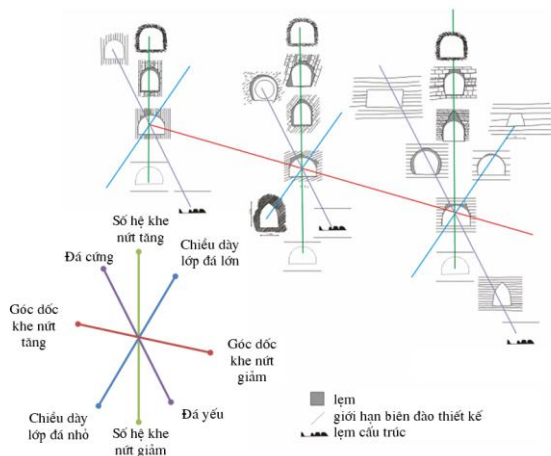
- Nếu số hệ khe nứt tăng và độ bền khối đá không quá thấp, mức độ lẹm sẽ thấp.

3. Kết luận

Trong thi công hầm tiết diện lớn bằng khoan nổ mìn thì không tránh khỏi đào thừa tiết diện, một vấn đề gây ảnh hưởng trực tiếp đến các chỉ tiêu kinh tế - kỹ thuật, độ bền và tính ổn định của công trình. Qua quá trình nghiên cứu và phân tích, bài báo rút ra các kết luận chính sau:

- Các yếu tố ảnh hưởng: Hệ số thừa tiết diện phụ thuộc vào sự tương tác phức tạp giữa các yếu tố khách quan (điều kiện địa chất, cấu trúc khối đá) và chủ quan (công nghệ khoan, chiều sâu bước đào, trình độ thi công);

- Vai trò của địa chất: Chất lượng khối đá, đặc biệt là chỉ số RMR và đặc điểm hệ thống khe nứt,



Hình 14. Tổng kết những ảnh hưởng của điều kiện khối đá đến hiện tượng đào lẹm (Terzaghi, 1946; Müller, 1976; Wahlstrom, 1973).

là những yếu tố then chốt. Kết quả cho thấy hệ số đào lẹm đạt giá trị lớn nhất khi góc của khe nứt so với mặt biên hầm bằng 45° . Ngoài ra, độ mở, mật độ và tính liên tục của khe nứt cũng ảnh hưởng đáng kể đến năng lượng nổ và mức độ phá đá;

- Yếu tố kỹ thuật và công nghệ: Chiều dài bước đào có xu hướng tỷ lệ thuận với hệ số thừa tiết diện; khi bước đào tăng, hiện tượng đào vượt cũng tăng theo. Đồng thời, các sai số trong đo đạc và việc thiết lập hộ chiếu nổ mìn không phù hợp với thực tế địa chất cũng là nguyên nhân chính dẫn đến thừa tiết diện.

Để kiểm soát hiện tượng đào thừa tiết diện là vô cùng quan trọng đối với các đường hầm tiết diện lớn, đặc biệt là hầm giao thông trong bối cảnh hạ tầng kỹ thuật đang phát triển mạnh mẽ tại Việt Nam hiện nay. Đơn vị thi công cần xây dựng hộ chiếu khoan nổ mìn linh hoạt, điều chỉnh số lượng và vị trí các lỗ mìn biên phù hợp với từng loại đá cụ thể (ví dụ: đá cứng loại IIa, IIb). Việc sử dụng thiết bị khoan hiện đại và lựa chọn vật liệu nổ thích hợp đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao hiệu quả kinh tế và đảm bảo an toàn cho công trình.

Đóng góp của các tác giả

Chu Việt Thức - phương pháp luận, viết bản thảo bài báo; Đào Văn Canh - phân tích dữ liệu, điều tra, khảo sát, chỉnh sửa bài báo.

Tài liệu tham khảo

- Bieniawski, Z. T. (1977). Geomechanics classification of rock mass and its application in tunneling. *ISRM*.
- Bulychev, N. S. (1989). *Cơ học công trình ngầm*. M. (tiếng Nga).
- Đào, V. C., Nguyễn, Q. P., Nguyễn, P. N. và nnk. (1999). *Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ: Nghiên cứu xác định hệ số thừa tiết diện các hầm tuyến năng lượng thủy điện Yaly*.
- Müller, L. (1970). The rock mechanics of underground construction. *Proceedings of the 2nd Congress of the International Society for Rock Mechanics*, Vienna: Springer-Verlag, 3, 691-702.
- Müller, L. (1976). Geomechanical principles in tunneling. *International Journal of Rock*

- Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 13(4), 123-140.
- Müller, L. (1978). New Austrian Tunnelling Method (NATM). *Tunnelling '78: Proceedings of the 3rd International Tunnelling Conference*, London: Institution of Mining and Metallurgy, 381-392.
- Phan, Đ. Đ. (1999). *Xây dựng công trình ngầm thủy điện Hòa Bình*. Nhà xuất bản Xây dựng.
- Singh, B. (1972). Influence of rock joints on blast fragmentation and tunnel stability. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 9(5), 345-356.
- Singh, S. P., Xavier, P. (2005). Causes, impact and control of overbreak in underground excavations. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 20 (1), 63-71.
- Tariq, S. M., & Worsey, P. N. (1996). An investigation into the effect of varying joint aperture and nature of surface on pre-splitting. In: *Proceedings of the 12th Annual Symposium on Explosives and Blasting Research*, International Society of Explosives Engineers (ISEE), February 4-8, 1996, Orlando, FL, USA, pp. 186-195.
- Terzaghi, K. (1946). Rock defects and load-bearing capacity in tunnels. *Journal of the Boston Society of Civil Engineers*, 33, 93-122.
- Wahlstrom, J. (1973). Stability analysis of underground openings in jointed rock. *Tunneling '73: Proceedings of the International Tunneling Conference*, London: Institution of Mining and Metallurgy, 45-58.
- Worsey, P. N., Farmer, I. W., and G. D. Matheson. (1981). The Mechanics of Pre-Splitting In Discontinuous Rock. *The 22nd U.S. Symposium on Rock Mechanics (USRMS)*, Cambridge, Massachusetts, June 1981.
- Worsey, P. N., & Qu, S. (1987). Effect of joint separation and filling on pre-split blasting. In: *Proceedings of the 3rd Mini-Symposium on Explosives and Blasting Research*, Society of Explosives Engineers (ISEE), February 5-6, 1987, Miami, FL, USA, pp. 26-40.
- Johansen, J., & Mathiesen, C.F. (2000). *Modern Trends in Tunnelling and Blast Design* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003762201>.