TẠP CHÍ ĐIỆN TỬ CỦA BỘ XÂY DỰNG
JOURNAL OF CONSTRUCTION

TẠP CHÍ XÂY DỰNG - eISSN 3030-4482

Đánh giá nguy cơ gia tăng đột biến lưu lượng nước chảy vào đường lò do ảnh hưởng của nước mưa từ bãi thải mỏ vùng Quảng Ninh

Assessment of the risk of sudden increases in mine inflow caused by rainfall infiltration from mine waste dumps in the Quang Ninh

TS Phạm Quang Nam
Trường Đại học Điện lực
Email: nampq@epu.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO
Chuyên mục: Khoa học công nghệ
Ngày nhận bài: 16/6/2026
Ngày sửa bài: 25/6/2026
Ngày chấp nhận đăng: 17/7/2026
Ngày xuất bản Online: 29/7/2026
Tác giả liên hệ:
Email: nampq@epu.edu.vn

TÓM TẮT

Nước chảy vào đường lò là một trong những yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến an toàn khai thác và sự ổn định của công trình ngầm tại các mỏ than hầm lò vùng Quảng Ninh. Bài báo đánh giá nguy cơ gia tăng lưu lượng nước chảy vào đường lò do nước mưa thấm qua bãi thải trên cơ sở phân tích điều kiện địa chất, địa chất thủy văn và tính toán dòng thấm. Nghiên cứu được thực hiện tại mỏ than Hòn Gai nhằm đánh giá ảnh hưởng của nước bổ cập từ bãi thải đến lưu lượng nước chảy vào đường lò trong mùa mưa. Kết quả cho thấy nước mưa thấm qua bãi thải làm gia tăng lưu lượng và nguy cơ nước chảy vào đường lò, đặc biệt trong các đợt mưa lớn kéo dài. Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất một số giải pháp kỹ thuật nhằm hạn chế nước thấm và giảm nguy cơ nước chảy vào đường lò. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở tham khảo cho việc đánh giá nguy cơ và lựa chọn giải pháp phòng ngừa tại các mỏ than hầm lò có điều kiện tương tự.

Từ khóa: Nước chảy vào đường lò; bãi thải; nước mưa; dòng thấm; mỏ than hầm lò.

ABSTRACT

Water inflow into underground roadways is one of the major factors affecting the safety and stability of underground coal mining in Quang Ninh Province, Vietnam. This paper assesses the risk of increased mine water inflow caused by rainfall infiltration through waste dumps based on geological, hydrogeological and seepage analyses. A case study

at the Hon Gai coal mine was conducted to evaluate the influence of rainfall recharge from waste dumps on roadway water inflow during the rainy season. The results show that rainfall infiltration through waste dumps increases the risk of mine water inflow, particularly during prolonged heavy rainfall events. Based on these findings, several engineering measures are proposed to mitigate seepage and reduce water inflow risks. The proposed approach provides a practical basis for water hazard assessment and the selection of appropriate mitigation measures for underground coal mines under similar geological conditions.

Keywords: Mine water inflow; waste dump; rainfall infiltration; seepage; underground coal mine.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong khai thác mỏ hầm lò, nước chảy vào các công trình ngầm luôn là một trong những vấn đề kỹ thuật quan trọng cần được kiểm soát. Sự xâm nhập của nước vào hệ thống khai thác có thể xảy ra từ nhiều nguồn khác nhau như nước ngầm, nước mặt, nước từ các tầng chứa nước hoặc nước mưa thấm qua các tầng đất đá phía trên. Khi lượng nước này vượt quá khả năng làm việc của hệ thống thoát nước mỏ, nguy cơ ngập lò và gián đoạn sản xuất có thể xảy ra, gây thiệt hại lớn về kinh tế và ảnh hưởng đến an toàn lao động.

Vùng than Quảng Ninh là khu vực khai thác than lớn nhất Việt Nam, với đặc điểm khí hậu nhiệt đới gió mùa, lượng mưa trung bình năm dao động 1.800 - 2.200 mm, tập trung 70 - 80% vào mùa mưa từ tháng 5 đến tháng 10 [1]. Các trận mưa lớn có cường độ cao thường xuyên xuất hiện, đặc biệt trong bối cảnh biến đổi khí hậu làm gia tăng tần suất và cường độ các hiện tượng thời tiết cực đoan. Lượng mưa ngày lớn nhất có thể đạt 250 - 350 mm, như trận mưa lịch sử tháng 7/2015 với lượng mưa 289 mm/24h gây ngập lụt và sạt trượt nghiêm trọng tại nhiều khu vực khai thác.

Song song với hoạt động khai thác, quá trình đổ thải đất đá từ các mỏ lộ thiên và hầm lò đã hình thành các bãi thải có quy mô lớn. Tại khu vực Hòn Gai - Cẩm Phả, các bãi thải như Khe Chàm (0,9 km²), Hà Tu (1,2 km²), Cao Sơn (1,4 km²) và Núi Béo (0,7 km²) có chiều cao từ 100 - 180 m, được cấu tạo bởi đất đá rời với độ rỗng lớn (25 - 45%) và hệ số thấm cao [2]. Các bãi thải này thường nằm ở vị trí địa hình cao hơn khu vực khai thác, tạo điều kiện cho nước mưa thấm xuống và di chuyển theo hệ thống khe nứt địa chất, xâm nhập vào các đường lò phía dưới.

Hiện tượng gia tăng đột biến lưu lượng nước chảy vào đường lò sau các trận mưa lớn đã được ghi nhận tại nhiều mỏ than thuộc vùng Quảng Ninh, trong đó có khu vực mỏ than Hòn Gai. Kết quả quan trắc cho thấy lưu lượng nước có thể tăng từ vài chục m³/h trong mùa khô lên hàng trăm, thậm chí hàng nghìn m³/h trong mùa mưa, gây áp lực lớn lên hệ thống thoát nước mỏ.

Chính vì vậy, việc nghiên cứu đánh giá nguy cơ gia tăng đột biến lưu lượng nước chảy vào lò từ bãi thải mỏ vào hệ thống công trình ngầm, đồng thời đề xuất các giải pháp kỹ thuật nhằm hạn chế dòng chảy này là cần thiết để đảm bảo an toàn và ổn định hoạt động khai thác mỏ.

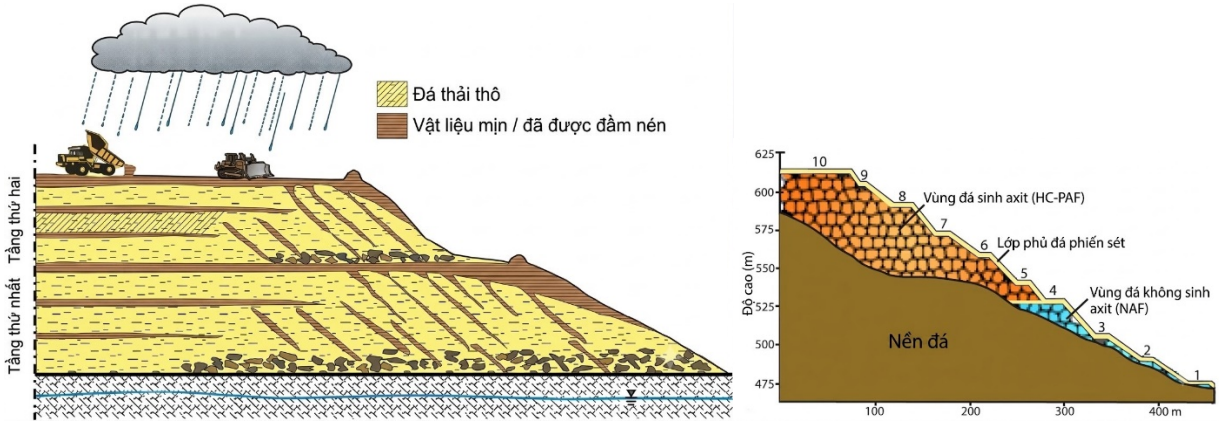
2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ NGUY CƠ BỔ CẬP NƯỚC TỪ BÃI THẢI

2.1. Cơ chế thủy động lực của dòng thấm từ bãi thải

Các nghiên cứu về thủy văn mỏ đã chỉ ra rằng nước mưa là một trong những nguồn bổ cập quan trọng đối với nước chảy vào các công trình khai thác mỏ. Theo Younger [3],

trong các khu vực có địa hình dốc và cấu trúc địa chất bị phá hủy mạnh, nước mưa có thể thấm nhanh vào các tầng đất đá thông qua các khe nứt và đới phá hủy, từ đó bổ cập cho hệ thống nước ngầm hoặc chảy trực tiếp vào các công trình ngầm.

Theo Anterrieu (2010) [4], bãi thải mỏ với đặc trưng vật liệu rời, không đồng nhất, có độ rỗng lớn và hệ số thấm cao đóng vai trò như một bể chứa nước tạm thời. Khi xuất hiện các trận mưa lớn, một phần nước mưa có cường độ vượt quá khả năng thấm của lớp bề mặt sẽ tạo thành dòng chảy tràn. Phần lớn lượng nước còn lại thâm nhập nhanh chóng vào khối đá thải. Điểm đáng lưu ý là sự phân bố không đồng nhất của kích thước hạt trong bãi thải cho phép nước thẩm thấu sâu xuống dưới với vận tốc lớn. Khi dòng thấm theo phương đứng này chạm đến bề mặt ranh giới với tầng đá gốc (thường có tính thấm kém hơn), nó bị cản lại, gây tích tụ nước, làm gia tăng cục bộ áp lực nước lỗ rỗng và buộc dòng chảy phải chuyển hướng dịch chuyển theo phương ngang [3, 7]. Dưới tác dụng của gradient thủy lực và trọng lượng bản thân, lượng nước này tiếp tục dò tìm và di chuyển qua hệ thống đới vỡ vụn, các khe nứt địa chất, tiếp cận và xuyên qua các điểm yếu của vỏ chống bê tông để xâm nhập ồ ạt vào không gian đường lò phía dưới.



Hình 1. Sơ đồ cấu trúc bãi thải đá mỏ [5]

Trên Hình 1 thể hiện sơ đồ cấu trúc của bãi thải mỏ. Quá trình thấm từ bãi thải vào đường lò chịu ảnh hưởng tổng hợp của nhiều yếu tố: Diện tích và chiều cao bãi thải, hệ số thấm của vật liệu, cường độ và thời gian mưa, đặc điểm địa chất thủy văn khu vực, khoảng cách và chênh lệch cao độ giữa bãi thải và đường lò, cũng như mức độ phát triển của hệ thống khe nứt.

2.2. Các phương pháp tính toán dòng chảy và dòng thấm

Trong nghiên cứu thủy văn công trình, lưu lượng dòng chảy mặt từ các lưu vực nhỏ thường được xác định theo V.T. Chow [5], lưu lượng đỉnh được xác định theo biểu thức:

$$Q_p = \frac{1}{3.6}.C.i.A \quad (1)$$

Trong đó: Q là lưu lượng dòng chảy (m³/s); C là hệ số dòng chảy, phụ thuộc vào đặc điểm bề mặt và độ dốc; i là cường độ mưa trung bình (mm/h); A là diện tích lưu vực thu nước của bãi thải (m²). Đối với bãi thải mỏ, hệ số dòng chảy thường nằm trong khoảng 0,30 - 0,60, phụ thuộc vào thành phần vật liệu, độ dốc bề mặt, mức độ đầm chặt và điều kiện ẩm ban đầu.

Phần nước mưa không tạo thành dòng chảy mặt sẽ thâm nhập trực tiếp vào khối đá bãi thải. Quá trình vận động của dòng thấm qua môi trường đất đá phá hủy nứt nẻ được đánh giá dựa trên định luật Darcy. Theo tác giả Jacob Bear [6], lượng nước có khả năng thấm vào bãi thải có thể xác định theo công thức tổng quát như sau:

$$Q_t = K \cdot A_t \cdot I \quad (2)$$

Trong đó: K là hệ số thấm của môi trường (m/s); A_t là diện tích mặt cắt thấm (m²); I là gradient thủy lực, được xác định bằng tỉ số giữa chênh lệch cột nước (Δh) và chiều dài đường thấm (L).

Dựa trên lưu lượng ngấm tính toán được từ công thức (2), kết hợp với cấu trúc hình học của đới vỡ vụn quanh đường lò, có thể đánh giá được quy mô và cường độ của dòng nước thực tế xuất lộ vào không gian ngầm.

2.3. Đánh giá thực trạng và dự báo lưu lượng nước chảy vào lò

2.3.1. Đặc điểm hiện trạng bãi thải và điều kiện khí hậu - thủy văn vùng mỏ Quảng Ninh

Tỉnh Quảng Ninh chịu ảnh hưởng của khí hậu nhiệt đới gió mùa với hai mùa rõ rệt, trong đó lượng mưa tập trung chủ yếu vào mùa mưa từ tháng 5 đến tháng 10 hàng năm. Số liệu thống kê giai đoạn 2020 - 2024 cho thấy lượng mưa trung bình năm đạt khoảng 2.220 mm, với biên độ dao động lớn từ 1.529 mm đến 3.271 mm/năm. Đỉnh điểm lượng mưa tháng ghi nhận mức kỷ lục 949,4 mm vào tháng 7/2024. Xét bình diện trung bình nhiều năm, tháng 8 và tháng 9 là thời kỳ giáng thủy mạnh nhất, đạt lần lượt 516 mm/tháng và 441 mm/tháng.

Dưới điều kiện khí hậu cực đoan này, các bãi thải mỏ lộ thiên trở thành đối tượng chịu tác động thủy văn trực tiếp. Các bãi thải trong khu vực thường có quy mô lớn, diện tích dao động từ 20 ha đến 60 ha, chiều cao từ 100 m đến 200 m. Vật liệu bãi thải chủ yếu là đá cát kết, bột kết và sét kết phong hóa, tồn tại ở trạng thái bở rời với độ rỗng đạt 25 - 45% và hệ số thấm lớn. Đặc trưng quy mô của một số bãi thải điển hình được thể hiện tại Bảng 1.

Bảng 1. Quy mô một số bãi thải lớn trong vùng Hòn Gai - Cẩm Phả [2]

Bãi thải khu mỏ	Diện tích bãi thải (km²)	Chiều cao (m)
Khe Chàm	0,9	120
Hà Tu	1,2	150
Cao Sơn	1,4	180
Núi Béo	0,7	100

Về điều kiện khí tượng, khu vực Quảng Ninh chịu ảnh hưởng trực tiếp của khí hậu nhiệt đới gió mùa với hai mùa rõ rệt: Mùa mưa từ tháng 5 đến tháng 10 và mùa khô từ tháng 11 đến tháng 4 năm sau. Theo chuỗi số liệu khí tượng thủy văn trạm Bãi Cháy, lượng mưa năm trung bình đạt khoảng 2.220 mm, dao động từ 1.529 mm đến 3.271 mm. Giá trị lượng mưa tháng lớn nhất ghi nhận được là 949,4 mm vào tháng 7/2024. Xét theo giá trị trung bình toàn giai đoạn, tháng 8 là tháng có lượng mưa lớn nhất (đạt khoảng 516 mm/tháng), tiếp theo là tháng 9 (đạt khoảng 441 mm/tháng). Chi tiết diễn biến lượng mưa giai đoạn 2020 - 2024 được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Thống kê lượng mưa theo các tháng từ 2020 - 2024

Năm	Tháng 1	Tháng 2	Tháng 3	Tháng 4	Tháng 5	Tháng 6	Tháng 7	Tháng 8	Tháng 9	Tháng 10	Tháng 11	Tháng 12
2024	56,6	9,6	23,2	104,6	354,7	723,0	949,4	341,9	697,5	7,6	1,8	0,9
2023	43,0	41,1	13,0	52,0	73,6	561,8	182,7	256,5	273,6	1,0	22,6	8,3
2022	69,7	144,8	49,3	24,7	291,7	182,9	396,4	708,4	461,2	210,2	34,9	1,5
2021	..	58,3	39,2	51,1	42,9	187,0	212,7	426,8	427,2	322,1	9,8	0,5
2020	72,9	25,3	37,3	48,4	67,7	141,8	45,7	847,8	345,9	247,0	16,2	0,7

Ghi chú: Số liệu lượng mưa trong bảng được tính theo đơn vị là mm.

2.3.2. Tính toán dòng chảy mặt và dòng thấm từ bãi thải

Sự kết hợp giữa diện tích hứng nước lớn và đặc tính rỗng xốp của bãi thải tạo ra hai thành phần bổ cập nước nguy hiểm cho hầm lò: Dòng chảy mặt tập trung và dòng thấm ngầm.

** Đánh giá ảnh hưởng của quy mô bãi thải đến dòng chảy mặt:*

Để xác định định lượng mức độ ảnh hưởng của quy mô bãi thải đến lượng nước dịch chuyển về phía đường lò, nghiên cứu tiến hành tính toán mô phỏng các kịch bản diện tích khác nhau dựa trên công thức 1 tại Mục 2.2. Giả thiết: Hệ số dòng chảy C = 0,45; cường độ mưa i = 80 mm/h; hệ số thấm vào lò α = 0,05 - 0,1. Kết quả tính toán được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. Dự báo lưu lượng nước vào lò theo diện tích bãi thải

Diện tích bãi thải (ha)	Dòng chảy bề mặt Q (m^3/s)	Nước vào lò (m^3/s)
10	3,6	0,18 - 0,36
20	7,2	0,36 - 0,72
30	10,8	0,54 - 1,08
50	18,0	0,9 - 1,8

Kết quả thu được từ mô hình cho thấy lưu lượng đỉnh dòng chảy mặt và lưu lượng nước vào lò gia tăng tuyến tính theo quy mô diện tích bãi thải. Khi diện tích bãi thải đạt mức 50 ha, lưu lượng nước bổ sung vào công trình ngầm dưới tác động của các trận mưa lớn có thể đạt tới giá trị 1,8 m^3/s. Đây là nguồn tác động cơ học và thủy văn nguy hiểm, tiềm ẩn nguy cơ gây quá tải hệ thống kết cấu chống giữ cũng như công tác thoát nước mỏ nếu không thiết lập giải pháp tiêu thoát chủ động phù hợp.

** Phân tích lưu lượng dòng thấm ngầm:*

Bên cạnh dòng chảy tràn bề mặt, thành phần dòng thấm vận động qua khối vật liệu bãi thải bở rời cũng đóng vai trò quan trọng trong cơ chế bổ cập nước cho hệ thống hầm lò. Áp dụng định luật Darcy (công thức 2 tại Mục 2.2) với các thông số thực nghiệm được thiết lập: Hệ số thấm của khối đá bãi thải K = $5,79.10^{-4}$ m/s - $6,94.10^{-4}$ m/s [2]; diện tích mặt cắt thấm A_t = 2.000 m^2; gradient thủy lực I = 1, ta có lưu lượng dòng thấm ngầm ước tính vào khoảng 4.170 - ≈ 5.000 m^3/h.

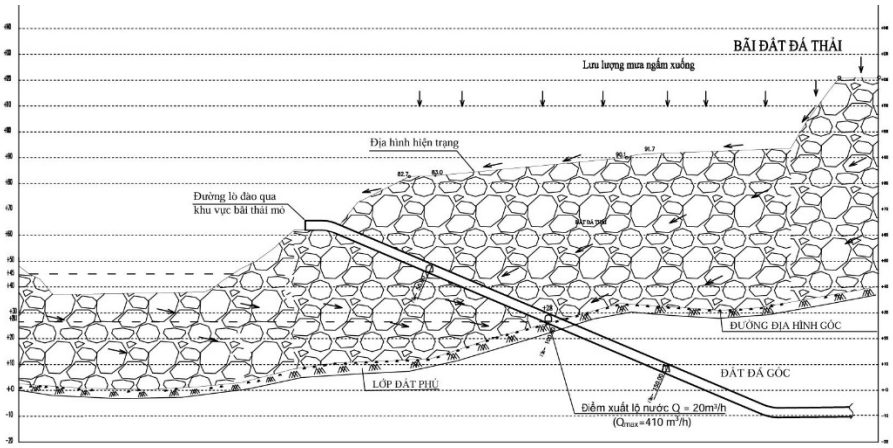
Với lưu lượng lớn như vậy và luôn có xu hướng dịch chuyển sâu xuống dưới và tiếp cận các đới phá hủy địa chất hoặc hệ thống khe nứt phát triển mở rộng, lượng nước tích tụ sẽ nhanh chóng dồn về các khoảng trống khai thác phía dưới, đe dọa trực tiếp đến tính ổn định của kết cấu chống giữ đường lò cũng như năng lực tiêu thoát nước của hệ thống thoát nước mỏ.

3. KIỂM CHỨNG THỰC TIỄN TRONG ĐIỀU KIỆN TẠI MỎ THAN HÒN GAI

Để có cái nhìn tổng quát và thực tế so với các giả thiết tính toán, bài báo xác lập tính toán trên số liệu khảo sát thực tế tại khu vực đường lò ngầm mức +50/+0 khu II vỉa 10 Cao Thắng - Công ty Than Hòn Gai - TKV. Đây là khu vực khai thác hầm lò có nhiều đường lò và diện khai thác nằm dưới hoặc lân cận các bãi thải đất đá có quy mô lớn, thường xuyên chịu ảnh hưởng của lượng mưa lớn trong mùa mưa. Điều kiện địa hình phân cắt mạnh, lượng mưa tập trung theo mùa và sự phát triển của các hệ thống khe nứt trong khối đất đá tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình bổ cập nước từ bãi thải vào công trình ngầm.

3.1. Đặc điểm hiện trạng công trình

Lò ngầm mức +50/+0 khu II vỉa 10 Cao Thắng được thi công để phục vụ thông gió, vận chuyển vật liệu cho sản xuất của toàn khu, có thời gian tồn tại lớn và ý nghĩa quan trọng. Đường lò được thi công trong giai đoạn từ 2020 - 2021 với tổng chiều dài lò khoảng 170 m, trong đó, từ IIK00 - IIK115 lò thi công hoàn toàn trong bãi thải Chính Bắc và lớp đất đá phủ, đã được đổ bê tông lưu vì, kết hợp với cốt thép (đổ bê tông toàn bộ chu vi đường lò). Từ IIK115 trở đi, ngầm được thi công trong đất đá nguyên thổ, chống giữ bằng thép hình vòm SVP-22, bước chống 0,7 m/vì. Trắc dọc đường lò qua khu vực bãi thải mỏ được thể hiện như trong Hình 2.



Hình 2. Trắc dọc đường lò đào qua khu vực đất đá thải

Trong quá trình sử dụng, các kết quả quan trắc lượng nước chảy vào mỏ thông qua tuyến đường lò này cho thấy: Vào thời điểm mùa khô, lưu lượng nước xuất lộ vào lò chỉ vào khoảng 30 m^3/h. Tuy nhiên, vào cao điểm mùa mưa, sau mỗi trận mưa lớn, kéo dài, có thời điểm đã đo được lưu lượng nước xuất lộ chảy vào mỏ qua đường lò này lớn nhất khoảng 450 m^3/h (nước xuất lộ cả từ vị trí chân cột, các khe nứt trên tường và vòm bê tông gây khó khăn trong công tác bơm thoát nước mỏ và tiềm ẩn nguy cơ mất an toàn trong trường hợp lưu lượng nước tiếp tục gia tăng do mưa lớn kéo dài).

Hình 3. Nước chảy ra từ khu vực chân bãi thải

Bằng việc khảo sát hiện trường và thu thập chi tiết hiện trạng nước xuất lộ vào lò ngầm mức +50/+0 tại mỏ Hòn Gai, có thể nhận định rằng nguồn nước từ bãi thải Chính Bắc và suối V10 là hai nguồn bổ cập chính, với hệ số thấm của vật liệu bãi thải dao động 12,34 - 139,34 m/ngày. Với lưu lượng nước chảy vào lò là rất lớn sau mỗi trận mưa lớn kéo dài (lên tới gần 500 m^3/h), các nguồn bổ cập này đã gây áp lực lớn lên hệ thống bơm thoát nước của mỏ và tiềm ẩn nguy cơ gây phá hủy kết cấu chống giữ đường lò.

3.2. Tính toán lưu lượng nước có thể chảy vào lò

Dựa trên các thông số khí tượng thủy văn cực đoan và kết quả khảo sát thực tế tại khu vực bãi thải Chính Bắc thuộc mỏ than Hòn Gai, tiến hành tính toán kiểm toán lượng nước thấm dồn về khu vực lò ngầm mức +50/+0 khu II vỉa 10 Cao Thắng.

Với quy mô diện tích bãi thải Chính Bắc vào khoảng 10 ha và chiều cao tầng lên tới 200 m, kết hợp với các số liệu khảo sát thực tế tại hiện trường cho thấy: Hệ số thấm của tầng đá thải xung quanh đường lò ngầm mức +50/+0 là 12,34 - 139,34 m/ngày. Dựa trên định luật Darcy, ta xác định được lưu lượng dòng thấm tiềm ẩn có nguy cơ thấm, chảy vào lò là khoảng 51.480 m^3/h - 579.600 m^3/h.

3.3. Nhận xét

Kết quả nghiên cứu cho thấy bãi thải mỏ có thể đóng vai trò như một lưu vực thu nước tạm thời với diện tích đáng kể trong điều kiện mưa lớn. Khi diện tích bãi thải lớn và vật liệu thải có hệ số thấm cao, lượng nước thấm xuống các tầng đất đá phía dưới có thể gia tăng nhanh chóng. Điều này phù hợp với nhận định của Younger và cộng sự [3] về vai trò của các khu vực bề mặt trong việc bổ cập nước cho công trình ngầm.

Diện tích bãi thải và hệ số thấm của đới phá hủy là hai yếu tố ảnh hưởng mạnh nhất đến lưu lượng nước vào lò. Khi diện tích bãi thải tăng 20%, lưu lượng nước có khả năng chảy vào lò tăng 18 - 22%, cho thấy việc mở rộng bãi thải trong tương lai sẽ làm gia tăng đáng kể áp lực lên hệ thống thoát nước. Nhận định này phù hợp với Singh và Atkins (1984) [8], khi các tác giả cho rằng việc đánh giá nguy cơ nước chảy vào mỏ cần xem xét đồng thời nguồn bổ cập, điều kiện địa chất thủy văn và đặc điểm hệ thống khai thác, từ đó làm cơ sở lựa chọn các giải pháp kiểm soát nước phù hợp.

Về mặt thời gian, theo các nghiên cứu thủy văn mỏ, trong môi trường có hệ thống khe nứt phát triển mạnh, thời gian truyền nước từ bề mặt xuống công trình ngầm có thể chỉ từ vài giờ đến một vài ngày sau mưa. Điều này giải thích hiện tượng nước vào lò tăng mạnh sau các trận mưa lớn từ 24 - 48 giờ.

Bên cạnh áp lực thủy tĩnh gia tăng, việc tích trữ một lưu lượng nước khổng lồ trong thời gian dài bên trong khối vật liệu bãi thải bở rời còn tăng nguy cơ hình thành các dòng chảy ngầm tự do, gây hiện tượng xói ngầm làm rỗng khu vực chân bãi thải, tiềm ẩn nguy cơ mất an toàn cho các đường lò và khu vực xung quanh.

4. ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP CÔNG NGHỆ PHÒNG NGỪA, GIẢM THIỂU NƯỚC CHẢY VÀO ĐƯỜNG LÒ

4.1. Các giải pháp xử lý nước thấm, chảy vào công trình ngầm

Trên thế giới, nhiều công nghệ đã được phát triển và ứng dụng để xử lý nước thấm vào công trình ngầm. Năm 1989, Nonveiller [9] đã hệ thống hóa các phương pháp bơm ép vữa xi măng, với ưu điểm chi phí thấp, độ bền cao, phù hợp xử lý các khe nứt lớn (>1 mm) nhưng hạn chế trong việc thâm nhập vào các khe nứt nhỏ.

Đến năm 1996, Widmann [10] giới thiệu công nghệ bơm ép polyurethane (PU) với khả năng phản ứng nhanh (30 - 120 giây), trương nở 5 - 20 lần khi gặp nước, tạo màng chắn kín nước hiệu quả ngay cả trong điều kiện có dòng chảy. Các sản phẩm như Dural Aqua-Dam của hãng Euclid Chemical hay MC Injekt 2700 của hãng MC Bauchemie đã được ứng dụng rộng rãi trong chống thấm và gia cố các công trình đập thủy lợi, thủy điện, hầm giao thông và các công trình ngầm trong mỏ hầm lò.

Cùng với sự nghiên cứu và phát triển ứng dụng vật liệu mới, đến năm 2003, Reuben Karol [11] đã đưa ra những kết quả nghiên cứu về bơm hóa chất silicate, với khả năng thấm sâu vào các khe nứt nhỏ (đến 0,1 mm), tạo gel chống thấm bền vững.

Gần đây, xu hướng sử dụng vật liệu composite cao phân tử kết hợp xi măng, thủy tinh lỏng và polyurethane cho thấy hiệu quả vượt trội trong xử lý các sự cố nước và bùn trong các công trình ngầm.

4.2. Phân loại các giải pháp kỹ thuật

Từ các phân tích trên cho thấy việc dự báo và kiểm soát lưu lượng nước chảy vào lò cần được quan tâm một cách nghiêm túc và thường xuyên, chỉ sau một trận mưa lớn kéo dài là có thể gây ảnh hưởng nghiêm trọng cho công tác sản xuất than hầm lò. Các biện pháp kiểm soát có thể thực hiện một cách chủ động bằng việc xem xét áp dụng các giải pháp như: (1) Xây dựng hệ thống rãnh thu nước bề mặt xung quanh bãi thải; (2) phủ lớp đất sét chống thấm hoặc màng HDPE trên bề mặt bãi thải; (3) trồng thảm thực vật để tăng thoát hơi nước và giảm xói mòn. Tùy thuộc vào điều kiện địa chất và giải pháp áp

dụng, việc kết hợp hệ thống thu nước mặt với các giải pháp giảm thấm trên bề mặt bãi thải có thể làm giảm đáng kể lượng nước ngấm vào khối bãi thải.

Ngoài ra, để bảo vệ các đường lò nằm trong hoặc phía dưới khu vực bãi thải, có thể xem xét áp dụng một số giải pháp kỹ thuật chống thấm phù hợp với điều kiện địa chất và đặc điểm phát triển của hệ thống khe nứt. Đối với các khe nứt có kích thước lớn, giải pháp bơm ép vữa xi măng siêu mịn được sử dụng để lấp đầy các khoảng rỗng, góp phần giảm khả năng thấm nước và nâng cao độ ổn định của khối đá. Trong trường hợp các khe nứt nhỏ hoặc môi trường có nước thấm, bơm nhựa polyurethane là giải pháp phù hợp nhờ khả năng phản ứng nhanh và tạo lớp vật liệu chống thấm hiệu quả. Đối với các vùng thấm phân tán hoặc hệ thống khe nứt mịn, bơm hóa chất silicate có thể được xem xét nhằm tăng cường khả năng chống thấm của môi trường đất đá thải.

Việc lựa chọn giải pháp cần căn cứ vào đặc điểm địa chất, điều kiện thủy văn và mức độ phát triển của hệ thống khe nứt tại từng khu vực. Trong thực tế, việc kết hợp nhiều giải pháp chống thấm thường mang lại hiệu quả cao hơn so với áp dụng riêng lẻ từng giải pháp. Bên cạnh đó, các biện pháp thu gom và thoát nước bề mặt tại khu vực bãi thải cũng cần được triển khai đồng bộ nhằm hạn chế lượng nước bổ cập vào khối bãi thải, từ đó góp phần giảm nguy cơ nước chảy vào các đường lò. Bảng 4 trình bày đặc điểm và phạm vi áp dụng của một số giải pháp công nghệ chống thấm cho các đường hầm.

Bảng 4. So sánh các phương pháp chống thấm trong công trình ngầm

Phương pháp	Đối tượng áp dụng	Ưu điểm	Hạn chế
Bơm vữa xi măng	Khe nứt lớn	Độ bền cao, chi phí hợp lý	Khó xử lý khe nứt nhỏ
Bơm PU	Khe nứt nhỏ, vùng có nước thấm	Thi công nhanh, khả năng chống thấm tốt	Chi phí vật liệu cao
Bơm silicate	Vùng thấm phân tán	Khả năng thấm sâu vào khe nứt nhỏ	Yêu cầu kiểm soát chặt điều kiện thi công

Cùng với các giải pháp đề xuất trên đây, khi thiết kế các mỏ, chúng ta cần chú trọng việc xây dựng hệ thống thoát nước trong lò một cách tổng thể. Cả hệ thống cần được phân thành các tầng, các khu vực thu nước và thoát nước cục bộ để giảm thiểu tác động liên hoàn trong trường hợp xảy ra biến cố. Bố trí trạm bơm trung gian tại các vị trí có nguy cơ cao. Trong điều kiện cho phép có thể xem xét phương án đầu tư tăng công suất hệ thống bơm chính phù hợp với lưu lượng dự báo.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã phân tích cơ sở thực tiễn và cơ chế hình thành hiện tượng gia tăng đột biến lưu lượng nước chảy vào đường lò dưới tác động của nước mưa từ bãi thải tại các mỏ than hầm lò vùng Quảng Ninh. Kết quả cho thấy nước mưa sau khi tập trung trên bề mặt bãi thải có thể thấm qua môi trường đất đá và hệ thống khe nứt, tạo nguồn bổ cập đáng kể cho các đường lò khai thác, đặc biệt trong điều kiện mưa lớn hoặc mưa kéo dài kết hợp với bãi thải có hệ số thấm cao và phát triển nhiều đường dẫn nước.

Trong điều kiện mưa cực đoan tại khu vực Quảng Ninh (250 - 300 mm/ngày), lưu lượng nước bổ sung từ bãi thải vào hệ thống đường lò có thể đạt 0,9 - 1,8 m^3/s đối với bãi thải diện tích 40 - 50 ha, và có thể lên đến 1,5 - 2,0 m^3/s trong các kịch bản bất lợi nhất. Với bãi thải diện tích 90 ha như tại mỏ Khe Chàm, lượng nước có khả năng thấm vào lò trong một trận mưa lớn 250 mm có thể đạt 6.750 m^3, tương đương lưu lượng trung bình 281 m^3/h kéo dài nhiều ngày.

Việc kiểm chứng tại khu vực mỏ Hòn Gai cho thấy kết quả đánh giá phản ánh phù hợp xu hướng gia tăng lưu lượng nước chảy vào đường lò trong các thời kỳ mưa lớn. Mặc dù vẫn tồn tại sai khác nhất định giữa kết quả tính toán và điều kiện thực tế do tính không đồng nhất của môi trường đất đá cũng như các yếu tố khai thác động, phương pháp đề xuất vẫn đáp ứng yêu cầu đánh giá nguy cơ và có khả năng hỗ trợ nhận diện các khu vực cần ưu tiên kiểm soát nước trong quá trình khai thác.

Kết quả nghiên cứu có thể được sử dụng làm cơ sở tham khảo trong đánh giá nguy cơ nước chảy vào các đường lò nằm dưới hoặc lân cận bãi thải tại các mỏ than hầm lò có điều kiện địa chất tương tự vùng Quảng Ninh. Trong thời gian tới, cần tiếp tục hoàn thiện mô hình dự báo bằng các phương pháp mô phỏng số nhằm nâng cao độ chính xác trong các điều kiện địa chất và khí tượng phức tạp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Cục Thống kê. Trang thông tin điện tử Cục Thống kê. Internet: https://www.nso.gov.vn (truy cập: tháng 3/2026).

[2] Nguyễn Tam Tính. Đánh giá hiện trạng một số bãi thải mỏ than lộ thiên khu vực Cẩm Phả, Quảng Ninh và đề xuất một số giải pháp nâng cao độ ổn định của chúng. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất, tập 60, số 2, tr. 121-130, 2019.

[3] Younger, P.L., Banwart, S.A., Hedin, R.S. Mine Water: Hydrology, Pollution, Remediation. Springer, Dordrecht, 2002.

[4] O. Anterrieu, M. Chouteau and M. Aubertin. Geophysical characterization of the large-scale internal structure of a waste rock pile from a hard rock mine. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, vol. 69, pp. 533-548, 2010.

[5] Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W. Applied Hydrology. McGraw-Hill, New York, 1988.

[6] Bear, J. Dynamics of Fluids in Porous Media. Dover Publications, New York, 1972.

[7] Freeze, R.A., Cherry, J.A. Groundwater. Prentice Hall, New Jersey, 1979.

[8] Singh, R.N., Atkins, A.S. Mine Water Problems and Solutions. Springer, Berlin, 1984.

[9] Nonveiller, E. Grouting: Theory and Practice. Elsevier, Amsterdam, 1989.

[10] Widmann, R. International practice for grouting of rock and soil. International Society for Rock Mechanics, Lisbon, 1996.

[11] Karol, R.H. Chemical Grouting and Soil Stabilization. Marcel Dekker, 2003.