

HỆ PHƯƠNG PHÁP, KỸ THUẬT KHẢO SÁT, ĐO VẼ VÀ MỘT SỐ GIẢI PHÁP QUẢN LÝ, BẢO VỆ, KHAI THÁC HANG ĐỘNG KARST

ĐỖ THỊ YẾN NGỌC¹, TRẦN TÂN VĂN¹, ĐOÀN THẾ ANH¹,
ĐOÀN THỊ NGỌC HUYỀN¹, HOÀNG XUÂN ĐỨC¹

¹Trung tâm Karst và Di sản địa chất, Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản

Tóm tắt:

Hang động có giá trị khoa học, giải trí, danh lam thắng cảnh độc đáo nhưng lại đang bị đe dọa bởi sự bất cẩn và hủy hoại có chủ ý của con người. Những giá trị này một khi bị biến mất thì không thể phục hồi và trách nhiệm bảo vệ hang động phải do những người nghiên cứu, thám hiểm đảm nhận. Tất cả các giá trị tài nguyên của một hang động, từ tích tụ hang động, sự sống và trầm tích bờ rời đều có ý nghĩa đối với việc thám hiểm, nghiên cứu, giải thích hang động. Khảo sát, đo vẽ hang động là hoạt động rất cần thiết, đóng vai trò quan trọng trong công tác bảo tồn, khai thác, sử dụng hợp lý hệ thống hang động. Bài báo trình bày Hệ phương pháp khảo sát, đo vẽ và đề xuất một số giải pháp góp phần quản lý, khai thác, sử dụng bền vững hang động đã và đang được áp dụng trên thế giới cũng như Việt Nam. Đây là cơ sở để các cấp có thẩm quyền xây dựng hành lang pháp lý, góp phần bảo vệ hệ thống hang động nói riêng và nguồn tài nguyên thiên nhiên nói chung ở Việt Nam.

Từ khóa: Khảo sát, đo vẽ, khai thác, quản lý, hang động.

Ngày nhận bài: 5/10/2023; *Ngày sửa chữa:* 10/11/2023; *Ngày duyệt đăng:* 15/12/2023.

System of methods and techniques for surveying, measuring and mapping, as well as some solutions for managing, protecting, and exploiting karst caves

Abstract:

Caves have unique scientific, entertainment, and scenic values which are being threatened by human carelessness and deliberate destruction. Once lost, these values cannot be restored. It's the responsibility of cave researchers and explorers to protect them. All of the cave resource values, including speleothems, lives, and friable sediments, are significant for cave exploration, research, and interpretation. Surveying, measuring, and mapping caves are crucial and play an important role in the conservation and reasonable exploitation and use of the cave system. The article presents a system of surveying, measuring, and mapping methods and proposes some solutions for the sustainable management, exploitation, and use of caves that have applied in the world as well as in Vietnam. This is the basis for competent authorities to develop a legal framework and contribute to protecting the natural resources and particularly the cave system in Vietnam. Keywords: Survey, mapping, exploitation, management, caves.

Keywords: Survey, mapping, exploitation, management, caves.

JEL Classifications: Q51, Q54, Q56, Q57.

1. MỞ ĐẦU

Hang động có vị trí đặc biệt quan trọng trong lịch sử nhân loại. Ngay từ thời tiền sử, con người đã phát hiện hang động có thể cung cấp nơi ẩn trú tạm thời hoặc lâu dài phù hợp, cùng với đó, hang động còn có giá trị về mặt khoa học và cảnh quan độc đáo. Tuy nhiên, những đặc trưng này đang bị đe dọa bởi sự bất cẩn, phá hoại có chủ ý của con người, một khi đã biến mất thì không thể phục hồi và trách nhiệm bảo vệ hang động phải do những người nghiên cứu, khám phá hang động đảm nhận. Việc bảo tồn hang động với chính sách thực tế cần được hỗ trợ bởi các chương trình hiệu quả, nhằm khuyến khích tinh

thần tự giác của những người khám phá hang động; giáo dục, nghiên cứu liên quan đến nguyên nhân và phòng ngừa hư hại hang động; các dự án đặc biệt, bao gồm hợp tác với các nhóm làm việc khác có cùng mục đích bảo tồn những khu vực tự nhiên. Tất cả giá trị tài nguyên của một hang động - tích tụ hang động, sự sống và trầm tích bờ rời đều có ý nghĩa đối với việc thám hiểm, nghiên cứu, giải thích hang động. Để công tác bảo tồn, khai thác, sử dụng hợp lý hệ thống hang động phát huy hiệu quả thì việc khảo sát, đo vẽ hang động là rất cần thiết. Bài báo tập trung trình bày Hệ phương pháp khảo sát, đo vẽ, từ đó để xuất giải pháp quản lý, bảo vệ, khai thác hang động.



2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU, KỸ THUẬT SỬ DỤNG

Các phương pháp, kỹ thuật truyền thống của ngành khoa học tự nhiên, đặc biệt là hệ phương pháp điều tra, kỹ thuật trong khảo sát, đo vẽ hang động sẽ được thu thập, tổng hợp, phân tích.

Các phương pháp nghiên cứu chuyên ngành về quản lý và bảo vệ tài nguyên, đặc biệt là di sản địa chất (kiểu địa mạo - B2) được thu thập, tổng hợp.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Hệ phương pháp kỹ thuật khảo sát, đo vẽ hang động

3.1.1. Khái niệm cơ bản về khảo sát hang động

Khảo sát hang động là hoạt động đo vẽ sơ đồ của tất cả hoặc một phần hệ thống hang, có thể đáp ứng các tiêu chuẩn khác nhau về độ chính xác, tùy thuộc vào điều kiện hang động và thiết bị có sẵn dưới lòng đất.

Giai đoạn đầu tiên của việc lập bản đồ hang động là thu thập dữ liệu thô, điều này liên quan đến việc vào hang và xác định các điểm dọc theo chiều dài của mỗi lối thông, mỗi điểm gọi là một trạm, có thể nhìn thấy từ ít nhất hai điểm liền kề. Một cuộc khảo sát hang động điển hình được chia nhỏ thành nhiều nhiệm vụ, thường do 2 - 5 người đảm nhận, gồm các bước: Xác định vị trí các trạm khảo sát; Đánh dấu các trạm khảo sát; Giữ và đọc đầu đo của thước khảo sát; Giữ đầu mốc của thước khảo sát; Chiếu sáng trạm đến khi đo tiến; Đọc (các) thiết bị khi đo tiến; Chiếu sáng trạm gốc khi đo lùi; Đọc (các) thiết bị khi đo lùi; Ghi chép; Phác thảo; Kiểm tra lối thông mạch hoặc lối thông phụ; Điều phối khảo sát và lãnh đạo tổng thể.

Việc khảo sát hang động thường bắt đầu tại cửa hang hoặc một trạm khảo sát đã biết trong hang. Trong một cuộc khảo sát gồm 3 người, một người sẽ đi bộ, leo trèo, bò hoặc bơi xuống lối thông, đồng thời mở hoặc kéo thước cuộn, người này được gọi là “Người đo đặc”, định vị một điểm trong tầm nhìn của trạm gốc và từ đó cũng có thể xem được lối thông chưa kết thúc. Người thứ hai được gọi là “Người sử dụng thiết bị”, hỗ trợ cảnh báo cho người đo đặc khi người đó gần khuất tầm nhìn. Điểm được người đo đặc chọn có thể ở bất kỳ đâu, tại một mảnh vỡ nhô ra, phần lồi trên thành hang hoặc phần nhô trên trần hang. Trạm mới này được gọi là Trạm đến; trạm ban đầu là Trạm gốc.

Người đo đặc và người sử dụng thiết bị kéo chặt thước cuộn, sau khi kiểm tra xem có nút thắt, gấp, xoắn quá mức hoặc chỗ vướng không thì người đo đặc sẽ đọc khoảng cách rồi truyền thông tin cho “Người ghi số” đánh dấu vào sổ khảo sát và đọc to lại để kiểm tra.

3.1.2. Hệ phương pháp khảo sát hang động

Hiện nay trên thế giới và ở Việt Nam đang tồn tại, phát triển một số phương pháp khảo sát hệ thống hang động ngầm, tiêu biểu như: Phương pháp khảo sát hang ngang; Dây thừng đơn; Lặn; Thả chất chỉ thị; Scan 3D bằng thiết bị, công nghệ hiện đại. Trong khuôn khổ của bài báo sẽ

trình bày một số phương pháp, gồm: Khảo sát hang ngang; Kỹ thuật dây thừng đơn và lặn. Các phương pháp còn lại sẽ được trình bày trong những bài báo tiếp theo.

3.1.2.1. Chuẩn bị cho chuyến đi khảo sát hang động

Trước khi một đoàn khảo sát vào hang, cần phải thực hiện một số bước sơ bộ như khảo sát, đánh giá khu vực dự định khảo sát; Lựa chọn nhóm trưởng là người biết lên kế hoạch khi nào tiến hành khảo sát và dự định thời gian khảo sát. Dụng cụ khảo sát cần được kiểm tra, đóng gói cẩn thận cho chuyến đi. Thiết bị này bao gồm máy đo khoảng cách bằng lazer hoặc thước đo, la bàn, máy đo độ cao, máy ảnh, sách để ghi dữ liệu khảo sát và kiểm kê. Bản đồ chi tiết về lộ trình di chuyển, điểm đến của đoàn cần được photo, mang vào hang. Nếu nhóm có kế hoạch ở dưới lòng đất trong vài ngày, cần phải có thêm dụng cụ để nấu ăn và ngủ nghỉ.

3.1.2.2. Phương pháp khảo sát hang ngang

Đây là một trong những phương pháp cơ bản và đơn giản nhất, cho phép các nhà khảo sát tiếp cận, khảo sát, đo vẽ hang một cách dễ dàng mà không cần phải dùng dây, treo dây hay sử dụng thiết bị leo chuyên dụng (Hình 1).

Mũ bảo vệ được gắn đèn chiếu sáng	Áo bảo hộ dùng trong trường hợp khảo sát hang khô	Áo bảo hộ dùng trong trường hợp khảo sát hang nước và chân nhái để bơi	Sử dụng ủng hoặc giày để đi khảo sát
Tất	Nút gối	Găng tay	Đèn dự phòng
Hộp chống nước	Ba lô	Sổ chịu nước và bút chì	Thước dây, địa bàn, giấy máy phản quang đánh dấu vị trí đo

▲ Hình 1. Các thiết bị sử dụng trong nghiên cứu, khảo sát và đo vẽ hang ngang

a. **Khảo sát:** Một nhóm khảo sát bắt đầu tại một điểm cố định (chẳng hạn như cửa hang) và đo một loạt tầm nhìn, các phép đo giữa các điểm (trạm). Các điểm là những vị trí cố định tạm thời được chọn chủ yếu để dễ tiếp cận và có tầm nhìn rõ ràng dọc theo lối đi trong hang. Trong một số trường hợp, các trạm khảo sát có thể được đánh dấu vĩnh viễn nhằm tạo ra một điểm tham chiếu cố định để quay lại vào ngày sau đó.

Các phép đo được thực hiện giữa các trạm bao gồm:

- Phương hướng (phương vị hoặc là vị trí phương hướng) theo hướng của la bàn;
- Độ nghiêng so với phương ngang (nghiêng đi) được thực hiện với máy đo độ cao;

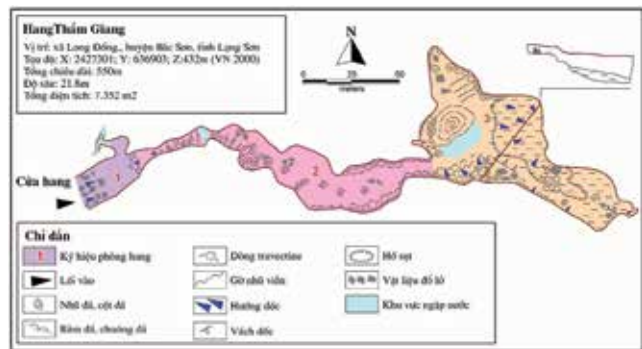
- Khoảng cách giữa 2 điểm được đo bằng thước dây có độ giãn thấp hoặc thước lazer;

- Các thông số khoảng cách đến các bức tường xung quanh: Trái, phải, lên, xuống (LRUD) hoặc khoảng cách đến những điểm cần quan tâm như cột đá, nhũ đá...

Cùng với việc ghi lại dữ liệu đường thẳng, chi tiết về kích thước lối đi, hình dạng, sự thay đổi dẫn dẫn hoặc đột ngột về độ cao, sự hiện diện/vắng mặt của mực nước tĩnh hoặc lưu chuyển. Vị trí của các đặc điểm đáng chú ý và vật liệu trên nền hang được ghi lại, thường bằng cách một bản đồ phác thảo với ghi chú chi tiết. Trong quá trình đo nên đánh dấu đường đi bằng miếng phản quang đối với hang có nhiều lối đi, để thuận tiện khi trở ra ngoài.

b. Vẽ sơ đồ hang: Sau khi kết thúc quá trình khảo sát thực tế, người vẽ bản đồ phân tích dữ liệu được ghi lại, chuyển đổi thành các phép đo hai chiều bằng cách hình học tính toán, từ đó tạo ra một sơ đồ, một biểu diễn hình học tỷ lệ của con đường xuyên qua hang động.

c. Hoàn thiện: Người vẽ bổ sung các chi tiết xung quanh biểu đồ đường thẳng, sử dụng dữ liệu bổ sung về kích thước lối đi, dòng nước và sàn/tường địa hình được ghi lại vào thời điểm đó, để hoàn thiện quá trình khảo sát hang động một cách hoàn chỉnh. Các cuộc khảo sát hang động được vẽ trên giấy thường được trình bày dưới dạng hai chiều: Hình chiếu đứng và hình chiếu bằng, trong khi các thông số trên máy tính có thể mô phỏng ba chiều (Hình 2).



▲ Hình 2. Sơ đồ hình chiếu bằng hang Thẩm Giang (Nguồn: Trung tâm Karst và Di sản địa chất)

3.1.2.3. Phương pháp khảo sát hang động khó với kỹ thuật dây thừng đơn

Kỹ thuật dây thừng đơn (SRT- Single-rope technique) trong khảo sát hang động là một tập hợp các kỹ thuật được sử dụng để đi xuống đáy hang và đi lên trên cùng một sợi dây. Kỹ thuật này được sử dụng trong các phần hang/hang động thẳng đứng.

a. Các thiết bị sử dụng trong nghiên cứu, khảo sát hang động bằng phương pháp dây thừng đơn

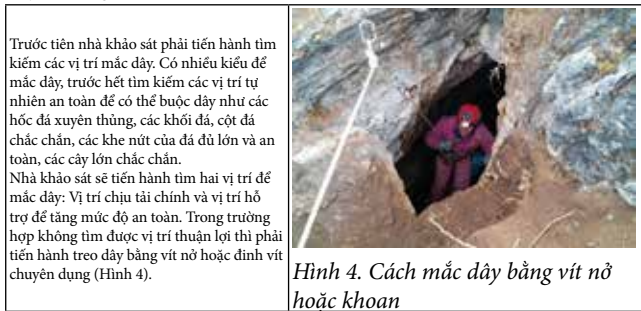
Ngoài các thiết bị trong khảo sát hang ngang thì trong khảo sát hang đứng cần bổ sung dây thừng đơn để lên xuống hang; Bộ búa đục hoặc máy khoan để đục hoặc khoan vào đá; Vít nở để treo dây; Dây dẹt và dây cáp để treo dây trong trường hợp treo dây vào khe đá hoặc cây cối xung quanh không cần đóng vít (Hình 3).



▲ Hình 3. Các thiết bị bổ sung khi sử dụng trong nghiên cứu, khảo sát và đo vẽ hang đứng

Ngoài các thiết bị trên còn phải chuẩn bị dao, thức ăn, nước uống, ắc quy hoặc pin dự phòng, thuốc dùng trong trường hợp cần thiết... Sau khi trang bị đầy đủ trang phục, thiết bị, sẽ tiến hành các bước kỹ thuật khảo sát hang.

b. Cách tiến hành khảo sát hang động bằng phương pháp dây thừng đơn



Hình 4. Cách mắc dây bằng vít nở hoặc khoan

Khi mắc dây hoàn tất, kiểm tra lại lần cuối, nếu thấy đảm bảo an toàn thì tiến hành đi xuống hang bằng thiết bị đi xuống và khi lên thì dùng thiết bị đi lên theo dây với các kỹ thuật leo dây đã được luyện tập. (Chú ý: Phải thắt mối ở phần cuối của dây để phòng trường hợp dây không đủ độ dài so với chiều sâu của hang sẽ gây nguy hiểm khi đi xuống). Cách tiến hành khảo sát hang tương tự như phương pháp khảo sát hang ngang đã trình bày ở phần trên.

3.1.2.4. Khảo sát hang động dưới nước

a. Lập kế hoạch

Khảo sát hang động dưới nước khó hơn khảo sát hang động khô, do đó, cần có kế hoạch chi tiết, đặc biệt là thu thập thông tin sau khi lặn nên công việc này được thực hiện một cách an toàn và ít sai sót nhất. Cũng giống như khảo sát hang động khô, thợ lặn lập bản đồ các vị trí ngập nước bằng cách thiết lập một loạt trạm đo (đá, móng ở những nơi thích hợp) và được kết nối với nhau bằng đường khảo sát. Sau đó, các thợ lặn sẽ đo thông số tại mỗi trạm cũng như khoảng cách, hướng giữa các trạm bằng cách sử dụng nguyên tắc DAD (độ sâu, phương vị, khoảng cách) và từ các trạm tham chiếu cụ thể như tảng đá, điểm đánh dấu, các nút trên đường khảo sát của họ rồi thực hiện nhiều phép đo bổ sung đối với trần, sàn, tường...



b. Kỹ thuật và thiết bị khảo sát

Về cơ bản, trang bị khảo sát cần thiết của thợ lặn hang động bao gồm: Địa bàn, đồng hồ đo chính xác, thước đo bằng sợi thủy tinh dài 30 - 50 m hoặc thước đo có đánh dấu sẵn (có thể dùng để lắp đặt lâu dài). Trạm đánh dấu (vít, chốt, búa...), các dụng cụ vẽ thích hợp (bảng khảo sát, sổ ghi chú, bút chì dự phòng...), cũng như một loạt thiết bị hỗ trợ (băng chàm, phao nổi, thiết bị tìm kiếm bằng sóng siêu âm, nước chai, nhiệt kế lấy mẫu) và dụng cụ lặn trong hang động bình thường (cuộn hướng dẫn/chỉ đường và những thứ tương tự (Hình 5)). Tất cả những vật dụng nhỏ này rất dễ bị rơi hoặc mất trong khi khảo sát và sự hiện diện của chúng đòi hỏi phải có thêm kỹ năng quản lý thiết bị.

			
Bộ quần áo giữ nhiệt khi khảo sát hang nước và lặn	Bình dưỡng khí	Thiết bị thở	Kính lặn
			
Đèn khảo sát	Đèn dự phòng	Chân vịt để bơi khi khảo sát hang nước và lặn	Găng tay
			
Mũ bảo hiểm chuyên dụng	Dao chuyên dụng dùng trong khảo sát hang nước phải lặn		
			
Dây đánh dấu đường đi chuyên trong hang	Các thiết bị chuyên dụng khác đều phải chống nước: Đồng hồ, địa bàn, thiết bị đo khoảng cách, máy ảnh		

▲ Hình 5. Các thiết bị sử dụng trong nghiên cứu, khảo sát và đo vẽ hang ngập nước

Trạm khảo sát: Sau khi thiết lập phương tiện để tự định hướng (la bàn), đo độ sâu nước (đồng hồ đo), cần thiết lập một loạt các trạm tham chiếu và đường đo cơ sở sẽ đóng vai trò là nền tảng để có thể bắt đầu khảo sát chi tiết khác. Một số nhà thám hiểm, thợ lặn ủng hộ việc chỉ sử dụng đặc điểm tự nhiên của tường để làm điểm đánh dấu cho các đường khảo sát (tránh sử dụng bất kỳ loại đinh hoặc piton nào) và cuối cùng, cần đánh dấu các trạm khảo sát một khoảng cách hợp lý (10 m/trạm).

Tuyến khảo sát: Với các trạm khảo sát đã chọn, cần kết nối chúng với nhau để có thể khảo sát từng trạm vào bản đồ và thiết lập các đường cơ sở, từ đó thu thập tất cả mọi dữ liệu quan trọng khác. Trong trường hợp vị trí cho phép sử dụng các dòng tham chiếu được cài đặt tạm thời hoặc vĩnh viễn, chúng nên được sử dụng cho đến khi thu thập đủ dữ liệu và không cần thiết ở nguyên vị trí nữa.

Thước đo: Mặc dù các đường thắt nút dễ nhìn thấy là công cụ khảo sát rất nhanh, nhưng sẽ cần sử dụng một thước dây chắc chắn, không giãn nếu muốn đảm bảo các phép đo khoảng cách dưới nước là chính xác nhất.

Khảo sát ghi chép trên bảng viết dưới nước: Bảng viết dưới nước đóng vai trò thiết yếu trong việc ghi lại tất cả phép đo dưới nước. Có nhiều hình thức sổ tay chống thấm nước khác nhau, nhưng hình thức tốt nhất của giấy ghi chú là loại có thể được xé ra sau mỗi lần lặn và giữ riêng với tất cả ghi chú gốc. Việc làm này có thể tốn kém hơn nhưng lại giúp ngăn ngừa lỗi xảy ra do sao chép sai dữ liệu khảo sát.

Hệ thống chiếu sáng gắn trên mũ bảo hiểm: Là một công cụ rất giá trị trong các ứng dụng nghiên cứu và lập bản đồ hang động dưới nước. Với mũ có gắn đèn tay, giúp thợ lặn tự do làm nhiều công việc khác và cầm những thứ khác. Tuy nhiên, đèn gắn trên mũ bảo hiểm công kênh cũng có thể kém thích hợp khi gặp nước chảy hoặc cản trở tầm nhìn, ngấm một số khu vực bởi ánh đèn được gắn ở gần ngang tầm mắt.

Kỹ thuật khảo sát - thu thập dữ liệu: Một trong những thách thức lớn nhất, quan trọng nhất của việc khảo sát hang động là việc lựa chọn kỹ thuật khảo sát. Một số địa điểm có thể được lập bản đồ rất chính xác bằng cách chỉ sử dụng một hoặc hai đường tham chiếu chính trong suốt chiều dài của chúng và xử lý đường đi ngang này để vẽ tất cả dữ liệu đã thu thập. Nhưng ở đường tham chiếu lớn hơn nhiều, chẳng hạn như trong môi trường hố sụt/lối đi trong hang động phức tạp hoặc có thể chỉ là một căn phòng rộng, một đường tham chiếu trung tâm không có tác dụng thực sự, vì vậy chúng ta cần sử dụng một số vị trí đường thẳng kỹ thuật khác nhau trong những trường hợp như vậy.

Không giống như khảo sát hang động khô, thợ lặn không thể dễ dàng yêu cầu đồng nghiệp xác nhận lại các phép đo ở khoảng cách xa hoặc mất nhiều thời gian để vẽ cẩn thận một bản đồ nháp của cuộc khảo sát khi họ tiến hành. Ngay cả việc ghi lại thông tin số vào các ô cũng là một nỗ lực lớn, đặc biệt là ở độ sâu có thể gây mất tập trung, do đó, cần khuyến nghị thợ lặn vẽ rất cơ bản về đường khảo sát của họ trên bảng ghi và phác thảo tất cả mọi chi tiết khi chúng được thu thập.

Để thực hiện các phép đo sàn và trần hang từ một trạm hoặc nút thắt trên một đường dây, thường dễ dàng buộc một người vào thước đo sau đó chỉ để nó chạy ra ngoài theo chiều dọc của sàn hang trước khi ghi lại khoảng cách và nhanh chóng quấn nó vào trước khi di chuyển đến trạm tiếp theo. Các phép đo trần hang phức tạp hơn vì không thể đơn giản nhìn lên và thấy một điểm cụ thể trên trần hang nếu nó cách xa hơn 5 m; Bọt khí thải nổi lên từ các hệ thống lặn mạch hở cũng tạo ra sự hỗn loạn đáng kể, đẩy băng nổi ra khắp nơi, gây khó khăn hoặc không thể biết khi nào nó tiếp xúc lần đầu tiên với trần hang. Vì lý do này, thợ lặn thứ hai nên được bố trí gần trần hang phía trên thợ lặn khảo sát, quan sát về một phía của bong bóng đang nổi lên để nhìn thấy phao nổi và hướng nó đến điểm tiếp xúc trần

đầu tiên trước khi giữ nó tại chỗ, chờ khảo sát. Thợ lặn bên dưới kéo dây chùng xuống và thực hiện phép đo.

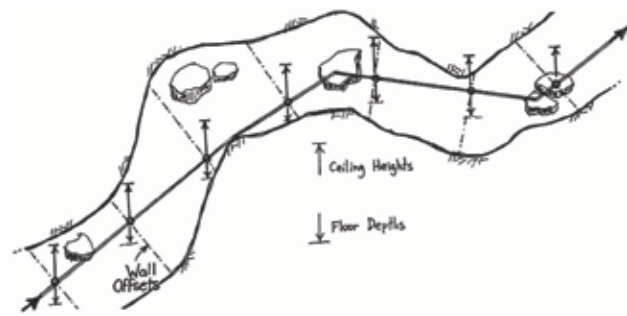
Kỹ thuật lập bản đồ và tính toán: Có 4 kỹ thuật khảo sát đường thẳng chính được sử dụng cho các nhà khảo sát hang động dưới nước, đó là:

- **Đường khảo sát đơn:** Đường ngang đơn chỉ sử dụng một đường cơ sở duy nhất mà từ đó tất cả các phép đo và hướng đo được thực hiện. Đây là loại khảo sát đơn giản, tiết kiệm thời gian và lý tưởng nhất để có ấn tượng ban đầu tốt về bản chất của lối đi trong hang (Hình 6).

- **Kỹ thuật cơ bản kép:** Được sử dụng một đường khảo sát thứ hai, chạy gần như song song với đường thứ nhất và kết nối với nhau tại các điểm khác nhau để cho phép vẽ biểu đồ chính xác hơn (Hình 7).

- **Kỹ thuật khảo sát tỏa tròn:** Hiệu quả là một cụm “đường đi ngang đơn lẻ” được nối với nhau tại một điểm trung tâm duy nhất tại một trạm tham chiếu thích hợp (Hình 8).

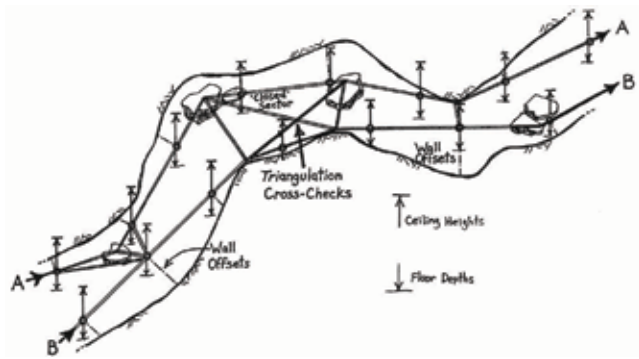
- **“Circumline”:** Một đường chạy từ điểm này sang điểm khác xung quanh các bức tường của một hang động lớn hoặc lối đi rộng và nối lại với chính nó thành một vòng khép kín (Hình 9).



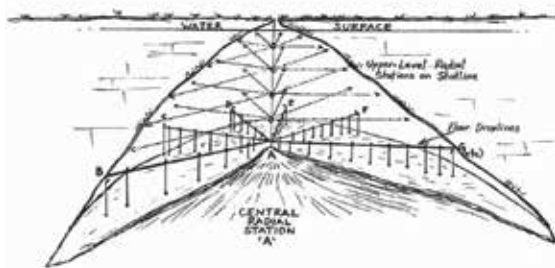
▲ Hình 6. Kỹ thuật khảo sát đường cơ bản

Để có kết quả tốt nhất là kết hợp một loạt bán kính, đường tròn và tam giác với các đoạn đo hoặc các đường ngắn hơn nhằm tạo ra một mạng lưới giúp cho số liệu khảo sát chính xác. Cách tốt nhất để bắt đầu lập bản đồ cho một căn phòng lớn là chạy ra một loạt 4 đường chính từ một tảng đá nổi bật ở đâu đó gần trung tâm căn phòng đến các bức tường ở xa khoảng 900 (khoảng hướng Bắc, Đông, phía Nam và phía Tây nếu có thể), sau đó chạy ra 4 đường khác gần 1/2 giữa mỗi đường này (tức là cách nhau 450), cuối cùng, kết nối tất cả các hướng tâm đó với một đường tròn duy nhất chạy quanh các bức tường của buồng hang.

Trong trường hợp hồ sục lớn đường đo quanh cửa ra vào, tạo thành một “đường tham chiếu” rất tiện dụng mà từ đó có thể thực hiện cách xa thường xuyên xung quanh chu vi để có được bức tranh tốt về hình dạng cạnh của lỗ. Sau đó, các phao trong hồ chính có thể được khảo sát thông qua nhiều lần kiểm tra la bàn cho đến khi chúng được kết nối với một phần của hệ thống khảo sát hoặc lưới điện dưới nước.



▲ Hình 7. Kỹ thuật đo đường cơ sở kép (khép kín) chính xác hơn

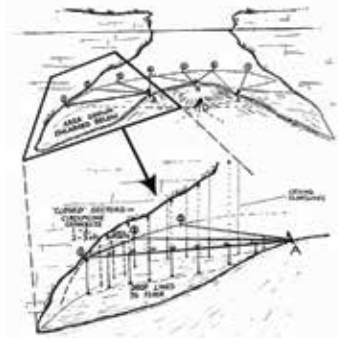


▲ Hình 8. Khảo sát tỏa tròn từ một trạm chiếu duy nhất (trạm trung tâm); Kỹ thuật được sử dụng để lập bản đồ “The Shaft” (5L158) bởi CDAARG (1983)

Bên dưới bề mặt, phương pháp hiệu quả nhất đo đường tham chiếu chính là cho một nhóm gồm 2 - 3 thợ lặn di chuyển từ khối đá này sang khối đá khác hoặc đến các trạm đã chọn, đặt và đo các đường thắt nút hoặc thước đo (dây), lấy các vòng xung quanh đơn giản dọc theo đường.

Những người khảo sát dưới nước cũng cần phải nhớ tiếp tục các chuyến lặn đã lên kế hoạch và ghi lại số liệu, thông tin của cuộc khảo sát để đảm bảo các thông tin, số liệu không bị lãng quên. Sẽ không có ích gì khi đội lặn thứ hai cố gắng bắt đầu khảo sát dọc theo một đường dây cố định nếu đường dây đó chưa được đội thứ nhất lắp đặt đúng cách hoặc nếu

mọi người quên đếm mét đo. Cuối cùng, khi vẽ bản đồ, có thể chọn một trong nhiều kiểu, từ kiểu “đúng kỹ thuật” đến kiểu “phác họa nhưng hữu ích và dễ theo dõi”. Nhìn chung, hướng nhìn của bản vẽ luôn có phần trên hướng về phía Bắc để người xem dễ dàng theo dõi sự phát triển của hang. Số liệu sau khi đo vẽ xong được xử lý bằng phần mềm chuyên dụng để ra mô hình 2D, hoặc 3D dạng thô.



▲ Hình 9. Kỹ thuật khảo sát vòng tròn (đóng) liên quan đến nhiều trạm tường và tia phân kỳ ở cùng mức, độ lệch từ các tia đó (Dự án “Ten-Eighty Sinkhole”, SAUSS Inc.)



▲ Hệ thống ánh sáng kích thích sự phát triển của thực vật đèn (*Lampenflora*) trên hệ thống nhũ đá trong hang karst

3.2. Đề xuất giải pháp khai thác và sử dụng bền vững hệ thống hang động

3.2.1. Tác động của hoạt động ngoại sinh và nhân sinh

Tác động ngoại sinh có ảnh hưởng trực tiếp đến hệ thống hang động. Quá trình hòa tan rửa lũa đá vôi do điều kiện khí hậu theo thời gian phá hủy những cảnh quan địa mạo, di sản địa chất. Những trận lũ mang theo vật liệu có thể làm lấp, tắc cửa hang hoặc phá hủy những giá trị di sản bên trong lòng hang. Những tác động này cần được nghiên cứu để làm giảm thiểu thiệt hại.

Một tác động khác là tác động “nhân sinh” do con người gây ra, nhiều hang động giá trị có nguy cơ bị phá hủy tức thì nếu không được bảo vệ. Tác động này có thể ngăn ngừa bằng các biện pháp quản lý cũng như giáo dục cộng đồng. Yếu tố nhân sinh bao gồm các hoạt động của con người tác động lên cảnh quan, môi trường nói chung, hệ thống hang động nói riêng, ngay cả hoạt động khai thác du lịch, thám hiểm hang động nếu không tổ chức đúng cũng gây ra thiệt hại không nhỏ cho hệ thống hang động. Mức độ tác động phụ thuộc vào ý thức, trách nhiệm và chính sách của từng vùng miền nói riêng, của một quốc gia nói chung. Rất nhiều hang động khi đưa vào khai thác du lịch đã làm ảnh hưởng lớn đến thạch nhũ trong hang.

3.2.2. Đề xuất giải pháp quản lý, khai thác, sử dụng bền vững hệ thống hang động

3.2.2.1. Đề xuất giải pháp quản lý hệ thống hang động

Xây dựng Luật quản lý, bảo vệ hang động và tài nguyên hang động. Xây dựng chiến lược, kế hoạch hành động về quản lý, bảo vệ, bảo tồn hang động cho từng giai đoạn, nhằm duy trì, bảo tồn tính đa dạng sinh học của hang động, cảnh quan núi đá vôi bao gồm các đặc tính về thủy văn, địa mạo, du lịch; Thúc đẩy việc sử dụng tài nguyên bền vững, nâng cao ý thức bảo vệ các giá trị tự nhiên, văn hóa, lịch sử của hang động cho thế hệ hiện tại và tương lai.

3.2.2.2. Đề xuất khai thác, sử dụng bền vững hệ thống hang động

Đánh giá, phân loại hang động và tài nguyên hang động. Xây dựng, thực hiện kế hoạch quản lý cho từng hang động: (1) Phát triển và thực hiện kế hoạch quản lý, chương trình giám sát hang động; (2) Thực hiện chương trình, dự án phục hồi, làm sạch hang động trong các hang động bị suy thoái. Xây dựng và thực thi các chính sách về sử dụng bền vững tài nguyên hang động; Quản lý và giám sát các tác động của khách du lịch đến hang động.

3.2.2.3. Quản lý các hang động theo định hướng du lịch sinh thái bền vững

Phát triển, thực hiện chương trình thuyết minh, hướng dẫn cho du khách, bao gồm giới thiệu tóm tắt chuyến tham quan, hướng dẫn để nâng cao kinh nghiệm phát triển hoạt động du lịch và nhận thức về bảo tồn cho du khách. Xây dựng, thực hiện các chính sách hướng dẫn về phát triển cơ sở du lịch bên trong và lối vào của các hang động (Bậc thang, cầu thang, hành lang, tay vịn, đài quan sát, hệ thống chiếu sáng, biển cảnh báo và định hướng...), đảm bảo an toàn cho du khách cũng như rủi ro môi trường. Các chiến lược phân vùng sử dụng cho du khách theo không gian, thời gian được phát triển cả bên trong và bên ngoài hang động.

3.2.2.4. Quản lý và giám sát tác động của khách du lịch đến hang động

Thực hiện đánh giá tác động của du khách thường xuyên, nhằm giảm thiểu hại cho hang động và rủi ro sức khỏe đối với con người. Xây dựng, thực hiện Bộ Quy tắc ứng xử dành cho khách du lịch nhằm giảm thiểu tác động của du khách, ngăn ngừa tai nạn, nguy cơ xấu đến sức khỏe, thiệt hại cho các hang động.

3.2.2.5. Bảo tồn, giáo dục và nhận thức cộng đồng

Xây dựng, thực hiện chiến lược truyền thông và giáo dục để nâng cao nhận thức của cộng đồng về bảo tồn các hang động cũng như tài nguyên hang động.



▲ Sử dụng dung dịch Oxy già (H_2O_2) để ngăn chặn sự phát triển của thực vật đèn trong hang động karst (Lampenflora)

3.2.2.6. Phát triển nguồn nhân lực

Nâng cao năng lực của cán bộ trong việc đánh giá, quản lý và giám sát các hang động;

3.2.2.7. Phát triển, tăng cường công tác thực hiện, giám sát các nghiên cứu cơ bản và ứng dụng về hang động

Thực hiện nghiên cứu cơ bản và ứng dụng để hỗ trợ quản lý, bảo tồn hang động, tài nguyên hang động; Xây dựng, thực hiện Bộ Quy tắc ứng xử dành cho các nhà nghiên cứu, nhà thám hiểm, nhà hang động học và thiết lập hệ thống giám sát, hiệu chỉnh nghiên cứu trong hang động.

3.2.2.8. Các hành vi bị nghiêm cấm

Cố ý phá hủy, làm xáo trộn, suy giảm chất lượng, làm hỏng, thay đổi, gây tổn hại đến hệ thống trầm tích hang động hoặc sự biến đổi của hang động làm thay đổi chu trình sống của động, thực vật; Thu thập, sở hữu, tiêu thụ, bán, trao đổi hoặc chào bán tài nguyên hang động mà không có sự cho phép của cơ quan có thẩm quyền.

4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở tổng hợp tài liệu trong và ngoài nước, kết hợp với kinh nghiệm thực tế khảo sát, đo vẽ hang động, nhóm tác giả đã trình bày về khái niệm khảo sát hang động, một số hệ phương pháp, kỹ thuật khảo sát, đo vẽ hang động đã và đang được áp dụng trên thế giới và Việt Nam. Quá trình khảo sát một hang động có thể được chia thành 3 giai đoạn: Giai đoạn đầu tiên là thu thập dữ liệu thô, hoặc khảo sát trong hang động. Giai đoạn thứ hai là quản lý dữ liệu và giai đoạn thứ ba là biên tập các bản đồ hang động. Cùng với việc khảo sát, đo vẽ hang động, nhóm tác giả đề xuất một số giải pháp quản lý, khai thác, sử dụng bền vững hang động. Đây là cơ sở để các cấp có thẩm quyền xây dựng hành lang pháp lý bảo vệ hệ thống hang động nói riêng và nguồn tài nguyên thiên nhiên nói chung ở Việt Nam ■

Lời cảm ơn: Bài báo được thực hiện trong khuôn khổ nhiệm vụ thường xuyên không giao tự chủ năm 2023 của Trung tâm Karst và di sản địa chất, Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, Mã số: 2023.03.11 do Bộ TN&MT cấp kinh phí. Tập thể tác giả trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- Audra P, Palmer AN (2017) mô hình hang động: Kiểm soát quá trình tạo hang biểu sinh. *Geomorphol Revues* 17(4):1-40.
- Alan Warild (1988), *Vertical-A technical manual for cavers*. Speleological Research Council Ltd P.O. Box 183 Broadway, NSW. 2007 Australia.
- Bates L. Robert and Julia Jackson, ed. *Glossary of Geology*. Alexandria: American Geological Institute, 1987.
- Benischke R, Goldscheider N, Smart CC (2007) Tracer techniques. In: Goldscheider N, Drew D (eds) *Methods in karst hydrogeology*. International Contribution to Hydrogeology, IAH, vol 26. Taylor and Francis/Balkema, London, pp 147-170.
- Bingham, B., Foley, B., Singh, H., Camilli, R., Dellaporta, K., Eustice, R., Mallios, A., Mindell, D., Roman, C., and Sakellariou, D. (2010). Robotic tools for deep water archaeology: Surveying an ancient shipwreck with an autonomous underwater vehicle. *Journal of Field Robotics*, 27(6):702=714.
- Gillieson, D., Gunn, J., Auler, A. và Bolger, T. (Ban biên tập), 2022. Hướng dẫn bảo vệ hang động và các vùng đá vôi, Phiên bản thứ 2, Postojna, Slovenia: International Union of Speleology and Gland, Switzerland, IUCN. 112 trang.
- Geofge R.Dasher, 1194. *On station. A Complete Handbook for surveying and Mapping Caves*. Geofge R.Dasher. National Speleological Society. 2813 Cave Avennue Huntsville, Alabama 35810-4431 USA.
- Goldscheider N (2019) Một cách tiếp cận toàn diện về bảo vệ nước ngầm và các dịch vụ hệ sinh thái ở địa hình karst. *Carbon Evap* 34(4):1241-1249. <https://doi.org/10.1007/s13146-019-00492-5>.
- Goldscheider N, Chen Z, Auler AS, Bakalowicz M, Broda S, Drew D, Hartmann J, Jiang G, Moosdorf N, Stevanovic Z, Veni G (2020) Sự phân bố toàn cầu của đá cacbonat và tài nguyên nước karst. *Hydrogeol J* 28(5):1661-1677. <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02139-5>.
- Littva J, Hók J, Bella P (2015) Cavitonics: sử dụng hang động trong các nghiên cứu kiến tạo đang hoạt động (Western Carpathians, nghiên cứu điển hình). *J Struct Geol* 80:47-56. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2015.08.011>.
- Palmer AN (1991) Nguồn gốc và hình thái của hang động đá vôi. *Geol Soc Am Bull* 103(1):1-21. <https://doi.org/10.1130/0016>.
- Van Tran Tan, Lagrou D, Masschelein J, Dusar M, Ke TD, Viet A, Quyet DX, Thang DV, Chung HT, Anh DT (2004) Quản lý nước karst ở Đồng Văn và Mèo Vạc, tỉnh Hà Giang, Việt Nam. *Đóng góp của các điều tra địa chất và hang động học*. *Trans KARST* 2004:265-271.
- Wagner T, Fritz H, Stüwe K, Nestroy O, Rodnight H, Hellstrom J, Benischke R (2011) Mối tương quan giữa các cấp hang, thêm tuổi và bề mặt san bằng dọc theo sông Mur-Thời gian phát triển cảnh quan dọc theo rìa phía đông của dãy Alps. *Geomorphology* 134(1-2):62-78. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.04.024>.