

PHÂN TÍCH CƠ CHẾ PHÁ HỦY, SẬP LỖ CÁC HANG KARST BẰNG CHƯƠNG TRÌNH UDEC

NGUYỄN QUANG MINH, NGUYỄN QUANG PHÍCH

Trường Đại học Mỏ - Địa chất

Tóm tắt: Trong các hiện tượng trụt lở đến mặt đất thường xảy ra trong nhiều năm gần đây ở nước ta, có một nguyên nhân là hậu quả của các quá trình sập lở trong các hang karst. Sập lở trong các hang karst là một dạng tai biến địa chất nguy hiểm tại các khu vực có karst. Để có thể dự báo được các hiện tượng phá hủy, sập lở cần thiết phải tìm hiểu cơ chế phá hủy và các phương pháp cho phép có thể nghiên cứu các hiện tượng này. Bài viết giới thiệu các nguyên nhân dẫn đến các hiện tượng phá hủy hang karst, phân tích các cơ chế phá hủy bằng chương trình UDEC.

1. Đặt vấn đề

Karst là tổ hợp các quá trình và hiện tượng địa chất xuất hiện trên bề mặt hoặc trong lòng đất chủ yếu là do hòa tan hóa học đất đá, tạo nên các hang rỗng, làm phá hủy và biến đổi cấu trúc, trạng thái đất đá, cơ chế nước ngầm, đặc thù địa hình, cơ chế mạng thủy văn. Hang karst có mặt trong nhiều vùng lãnh thổ của nước ta, nhiều nơi đã được khai thác cho mục tiêu của nền kinh tế du lịch. Tuy nhiên, nếu chú ý theo dõi các hang karst, như các hang Đầu Gỗ, Thiên Cung nổi tiếng ở Vịnh Hạ long trong thời gian dài, cho thấy tại các hang này đã từng xảy ra các hiện tượng phá hủy, sập lở và cũng đã được gia cố. Nghiên cứu để dự báo, ngăn ngừa, phòng tránh các hiện tượng phá hủy của các hang karst do vậy là rất cần thiết.

Nói chung, các hang động karst tồn tại lâu dài có thể bị phá hủy, sập lở ở nhiều dạng khác nhau, do các tác động khác nhau. Một trong các nguyên nhân gây phá hủy, sập lở là tác động dưới dạng cơ học, có thể nghiên cứu, đánh giá theo các quan điểm trong cơ học đá. Về mặt cơ học, các hang karst là một dạng đặc biệt của khoảng trống ngầm tự nhiên trong lòng trái đất. Các hiện tượng phá hủy, sập lở có thể xuất hiện ở một trong ba dạng sau:

- Sập lở do biến đổi cơ học, cụ thể do hiện tượng tập trung ứng suất cục bộ, kết hợp với suy giảm về độ bền của đá, khối đá theo thời gian;
- Sập lở các khối nêm (khối nứt) do cấu trúc địa chất, cụ thể do giao cắt không thuận lợi

của các hệ khe nứt trong khối đá, kết hợp với các biến đổi địa chất theo thời gian, như tác động phong hóa, rửa lũa...

- Sập lở do uốn, khi khẩu độ hang đủ lớn, các lớp trong khối đá bị phá hủy, sập lở do trọng lượng bản thân

Sự phá hủy, sập lở các hang karst có thể là một trong những nguyên nhân gây ra các “hố tử thần” tại các khu vực có hang karst ở nước ta. Ngoài ra, nếu các hiện tượng phá hủy, sập lở xảy ra ở quy mô lớn, trong một thời điểm nhất định, có thể gây ra rung chấn kích thích. Vì vậy tìm hiểu về cơ chế phá hủy, sập lở (cơ học) của các hang karst, cũng như các phương pháp mô phỏng, dự báo các hiện tượng này là cần thiết, để từ đó có thể có được các giải pháp đề phòng hợp lý.

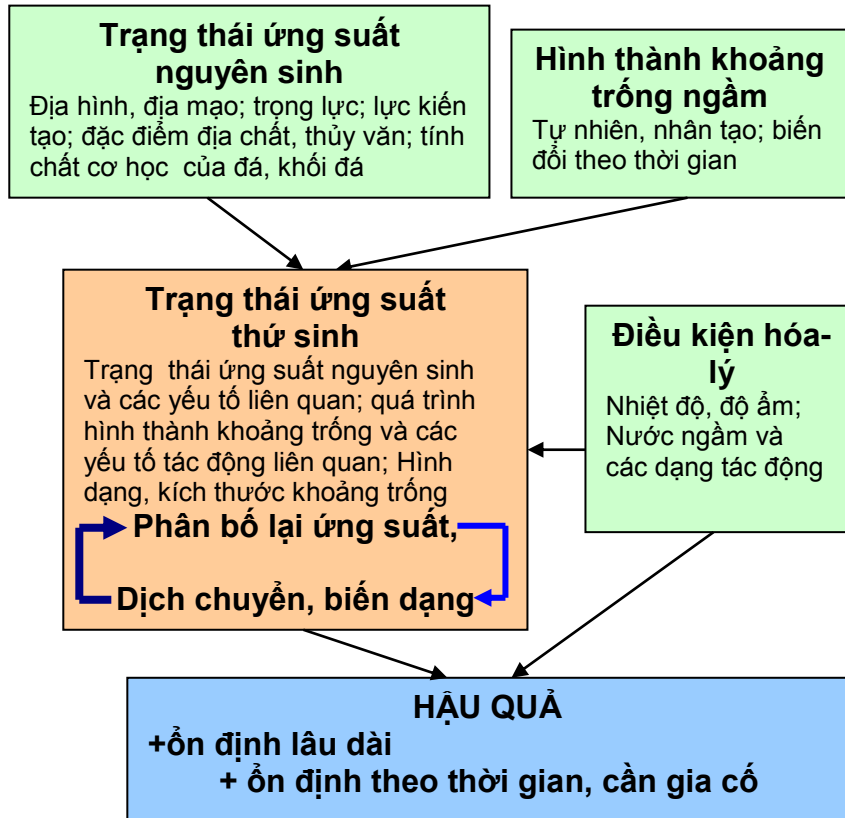
2. Phá hủy hang karst do ứng suất tập trung

Khi trong khối đá có các khoảng trống, tự nhiên, hay nhân tạo thì ngay với giả thiết là khối đá không bị phân cách mạnh bởi các hệ thống khe nứt, cũng như áp lực đá ban đầu không lớn, thì vẫn có thể xuất hiện trạng thái cơ học trong khối đá xung quanh khoảng trống, có cường độ ứng suất vượt sức chịu tải của khối đá và dẫn đến các hiện tượng phá hủy [1]. Các kết quả nghiên cứu trong cơ học đá đã cho thấy, phá hủy các khoảng trống ngầm do tập trung ứng suất xảy ra phụ thuộc chủ yếu vào các yếu tố sau:

- Trạng thái ứng suất nguyên sinh, nghĩa là trạng thái ứng suất tồn tại trước khi xuất hiện các hang hốc,

- Hình dạng và kích thước của các hang hốc
- Độ bền hay khả năng chịu tải của đá
- Độ bền hay khả năng chịu tải của khối đá
- Nước ngầm và tính chất của nước ngầm
- Khoảng cách của hang karst tới mặt đất
- Thời gian

Như vậy, các quá trình biến đổi cơ học phức tạp và trạng thái của hang karst cần được phân tích, đánh giá theo sơ đồ trên hình 1 bằng các phương pháp lý thuyết khác nhau, có thể tham khảo trong [1], với lưu ý là phân bố lại ứng suất và dịch chuyển luôn có ảnh hưởng đến nhau.



Hình 1. Sơ đồ phân tích quá trình biến đổi cơ học, các yếu tố ảnh hưởng và hậu quả về mức độ ổn định của hang karst

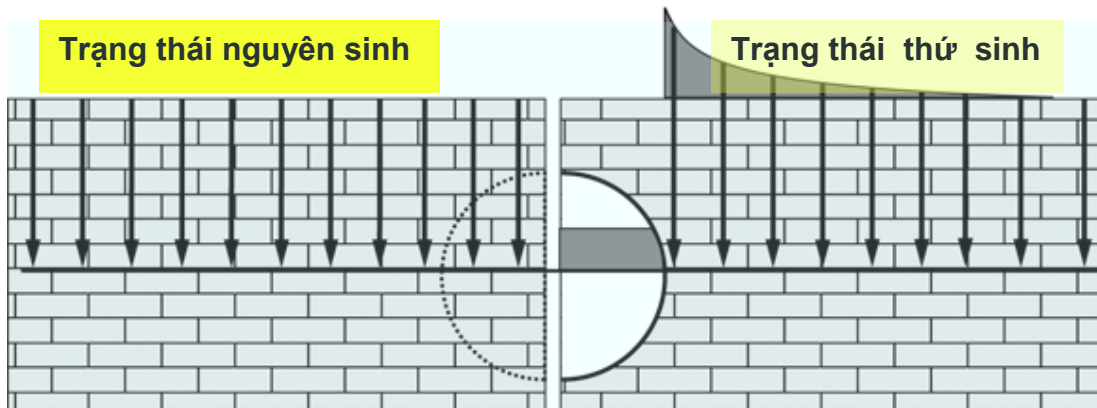
Trạng thái ứng suất nguyên sinh được hiểu là trạng thái ứng suất tồn tại trước khi xuất hiện hang hốc, đặc trưng bởi các thành phần ứng suất theo phương thẳng đứng và các phương ngang, trong hệ tọa độ đề các. Quy luật hình thành và phân bố của trạng thái ứng suất nguyên sinh khá phức tạp, phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau, trong đó cần lưu ý đến yếu tố địa hình, địa mạo. Thành phần ứng suất theo phương thẳng đứng phụ thuộc vào mật độ của các lớp đất đá và có xu hướng tăng theo độ sâu, tỷ lệ với mật độ của các lớp đá. Các thành phần ứng suất theo các phương nằm ngang có thể

khác nhau và bị chi phối bởi đặc điểm biến dạng của đá, khối đá, tuy nhiên cũng tăng theo độ sâu.

Sự xuất hiện hang hốc trong khối đá sẽ tạo nên khoảng trống không còn khả năng nhận tải, do vậy theo nguyên lý cân bằng cơ học sẽ hình thành trạng thái ứng suất mới, trạng thái ứng suất thứ sinh. “Lượng ứng suất” nguyên sinh trước đây, xuất hiện trong vùng sau này là khoảng trống (hang karst), được phân bố ra vùng xung quanh hang karst. Do vậy xung quanh hang karst sẽ có vùng cục bộ xuất hiện trạng thái ứng suất với cường độ lớn hơn so với

trạng thái nguyên sinh. Dưới trạng thái ứng suất mới, các phần tử trong khối đá sẽ biến dạng, dịch chuyển và trong trường hợp không thuận lợi lại dẫn đến biến đổi lại trạng thái ứng suất. Có thể khẳng định rằng, tại các vị trí mà trạng thái ứng suất thứ sinh đạt khả năng chịu tải của đá, hoặc của hệ khe nứt, sẽ dẫn đến phá hủy

khối đá. Có thể hình dung đơn giản quá trình biến đổi cơ học qua sơ đồ minh họa trên hình 2. Các mũi tên biểu thị cường độ của thành phần ứng suất theo phương thẳng đứng lên mặt cắt ngang, theo trục ngang của khoảng trống hình tròn. Khi khối đá còn là đàn hồi, trên biên khoảng trống sẽ có cường độ ứng suất lớn nhất.



Hình 2. Mô phỏng về quy luật phân bố lại ứng suất

Như vậy, phân tích đánh giá xem khối đá xung quanh hang karst có ổn định (không bị phá hủy) hay mất ổn định (bị phá hủy) là vấn đề phức tạp, phải xem xét đến ảnh hưởng của nhiều yếu tố khác nhau. Một trong các yếu tố quan trọng là tính chất cơ học của khối đá, cụ thể là khối đá có thể có các biểu hiện biến dạng và phá hủy khác nhau.

Tuy nhiên, trong thực tế cũng đã hình thành các tiêu chuẩn đánh giá mang tính kinh nghiệm. Một trong tiêu chuẩn đơn giản, được giới thiệu bởi Hoek-Brown (1980) [2] trong xây dựng công trình ngầm, dựa trên các kết quả quan trắc của Wilson (1971), của Ortlepp, More O'Ferral và Wilson (1972). Tiêu chuẩn tương tự cũng được Daslavski, Dorin và Treniak (1972) sử dụng [3]. Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu và nhận định của các tác giả đó, lập tỷ số ngược lại, với σ_N^* là độ bền nén hay cường độ ứng suất nén đơn trục giới hạn của khối đá và σ_1 là thành phần ứng suất lớn nhất của trạng thái ứng suất nguyên sinh, trạng thái ổn định hay mất ổn định của khối đá được đánh giá theo các tiêu chí sau:

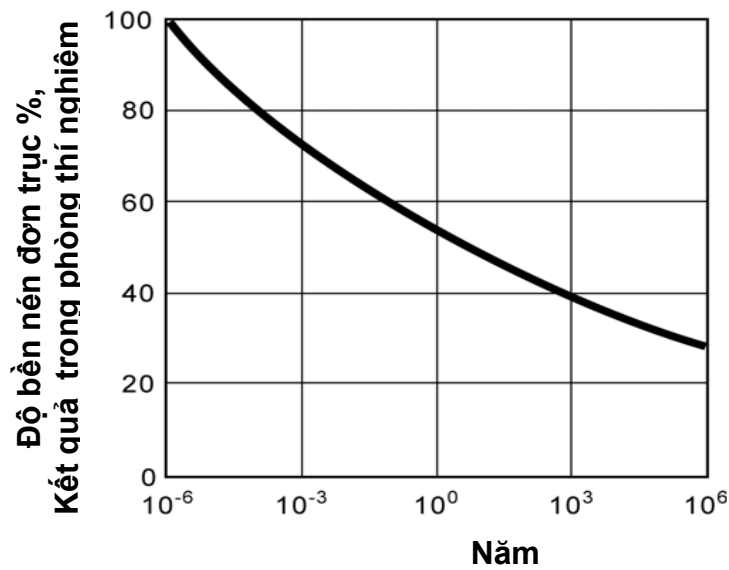
$$\sigma_N^* / \sigma_1 > 10 : \text{khối đá ổn định}$$

$$\sigma_N^* / \sigma_1 \approx 5 : \text{xuất hiện tróc vỡ nhẹ}$$

$$\sigma_N^* / \sigma_1 < 3 : \text{phá hủy, sập lở mạnh}$$

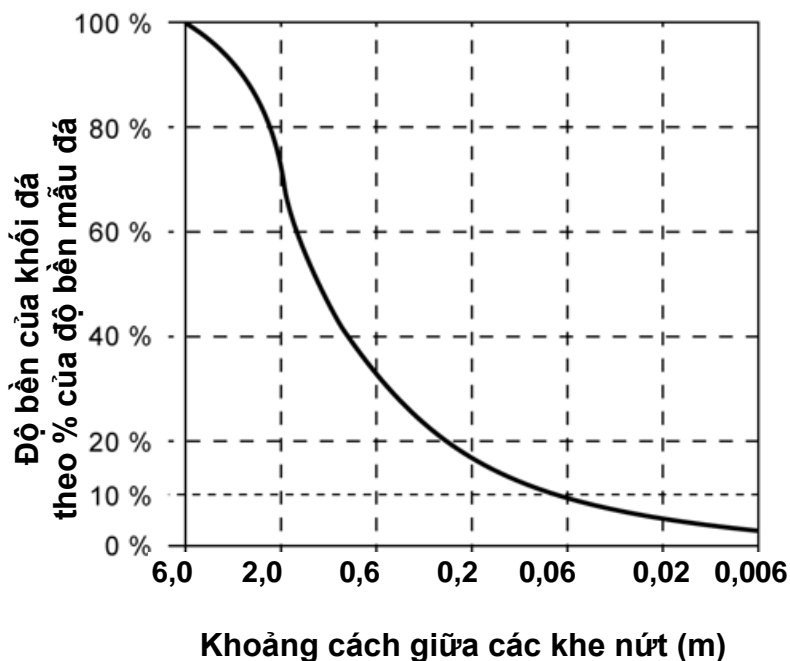
Ví dụ với độ bền nén đơn trục của đá vôi là 60MPa, thì theo tiêu chuẩn đơn giản này, hiện tượng tróc vỡ nhẹ sẽ xuất hiện khi thành phần ứng suất nguyên sinh lớn nhất bằng 12MPa. Ví dụ xung quanh một hang karst có chiều rộng bằng 3 đến 4m, trong khối đá vôi có mật độ bằng 2,5g/cm³, có thể xuất hiện các hiện tượng tróc vỡ do ứng suất, bắt đầu từ độ sâu 480m.

Đương nhiên, đánh giá trên có ý nghĩa tức thời và chưa chú ý đến sự có mặt của các hệ khe nứt. Trong thực tế, khả năng nhận tải của khối đá có thể giảm dần theo thời gian và chịu ảnh hưởng của mức độ nứt nẻ của khối đá. Ví dụ từ kết quả thí nghiệm đá vôi, trong vòng 10 năm, Tharp (1995) [4] đã nêu một quy luật suy giảm độ bền như trên hình 3. Như vậy, trong vòng 10⁶ năm (1 triệu năm), độ bền của đá trong trường hợp này suy giảm còn một nửa. Khi độ bền suy giảm theo thời gian, thì khả năng tróc vỡ của hang karst cũng tăng theo thời gian. Ngoài ra suy giảm độ bền theo thời gian cũng còn phụ thuộc vào các điều kiện hóa lý, tác nhân phong hóa khác.



Hình 3. Quy luật suy giảm độ bền của đá vôi theo Tharp

Sự phụ thuộc của độ bền khối đá vào sự có mặt của các hệ khe nứt, hay mức độ phân cách của khối đá được nhiều nhà khoa học nghiên cứu và đưa ra các quy luật khác nhau. Nói chung độ bền của khối đá càng giảm khi khoảng cách giữa các khe nứt càng nhỏ, hay mật độ nứt nẻ càng tăng. Trên hình 4 cho thấy đề xuất của Spaun và Thuro (1999)[5].



Hình 4. Sự suy giảm của độ bền khối đá theo mức độ nứt nẻ

Quy luật về giảm bền do sự có mặt của các khe nứt theo các đề xuất khác cũng được tổng hợp trong [1], thông qua hệ số giảm bền do cấu trúc. Một điều quan trọng cũng cần chú ý là khi các khe nứt chưa xuyên suốt khối đá, thì trong quá trình phân bố lại ứng suất, các khe nứt có thể phát triển dài ra, thậm chí hình thành khe nứt mới, do vậy độ bền của khối đá cũng lại biến động theo quá trình này.

3. Phá hủy hang karst do cấu trúc địa chất

Nếu trong khối đá tồn tại các hệ khe nứt khác nhau, sự giao cắt của chúng sẽ tạo nên các khối nứt. Các khối nứt có một mặt thoáng trên biên của hang karst được gọi là các khối nêm. Trong trường hợp trạng thái ứng suất thứ sinh nằm trong giới hạn không gây ra phá hủy do ứng suất, thì hiện tượng phá hủy như sập, trượt vẫn có thể xảy ra tại hang karst, nếu dưới tác động của trọng lượng bản thân của khối nêm hình thành các lực gây trượt, thắng các lực chống tách, trượt giữa khối nêm và các khối nứt hay các khối nêm vây quanh. Hiện tượng phá hủy này, trong cơ học đá gọi là hiện tượng phá hủy do cấu trúc. Công cụ nghiên cứu, đánh giá đặc lực nhất hiện nay là sử dụng các phương pháp chiếu cầu, chương trình UNWEGDE, các chương trình số trên cơ sở phương pháp phần tử rời rạc (Distinct Element Method).

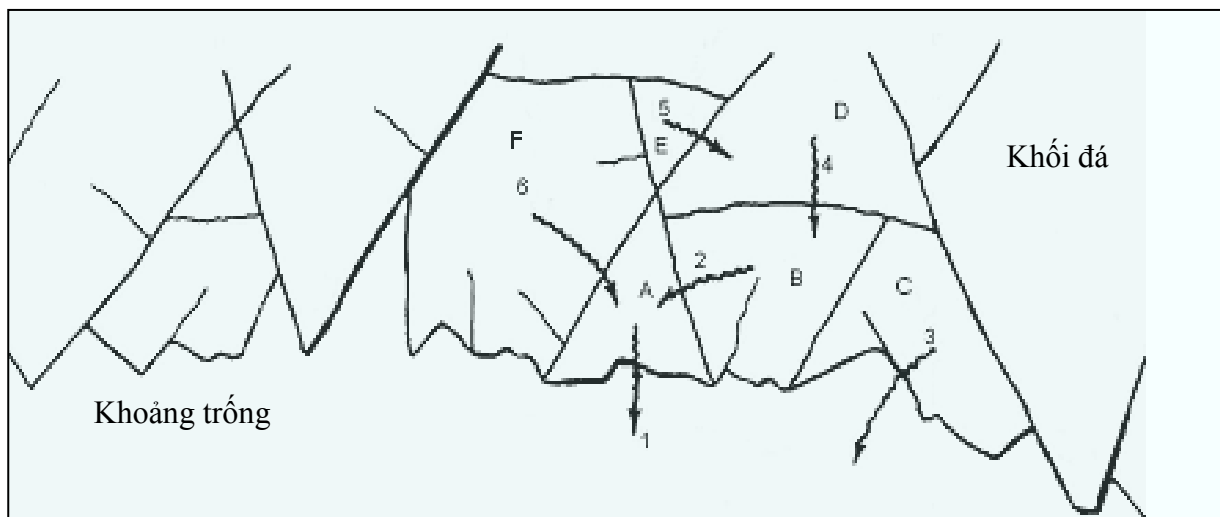
Có thể hình dung về quá trình phát triển phá hủy cấu trúc như trên sơ đồ hình 5, theo trình tự sau:

1. Khối nêm A trượt lở, khi trọng lượng bản thân thắng các lực cản
2. Khối B quay ngược chiều kim đồng hồ và trượt lở
3. Khối C quay ngược chiều kim đồng hồ và trượt lở
4. Khối D rơi và kế tiếp là E

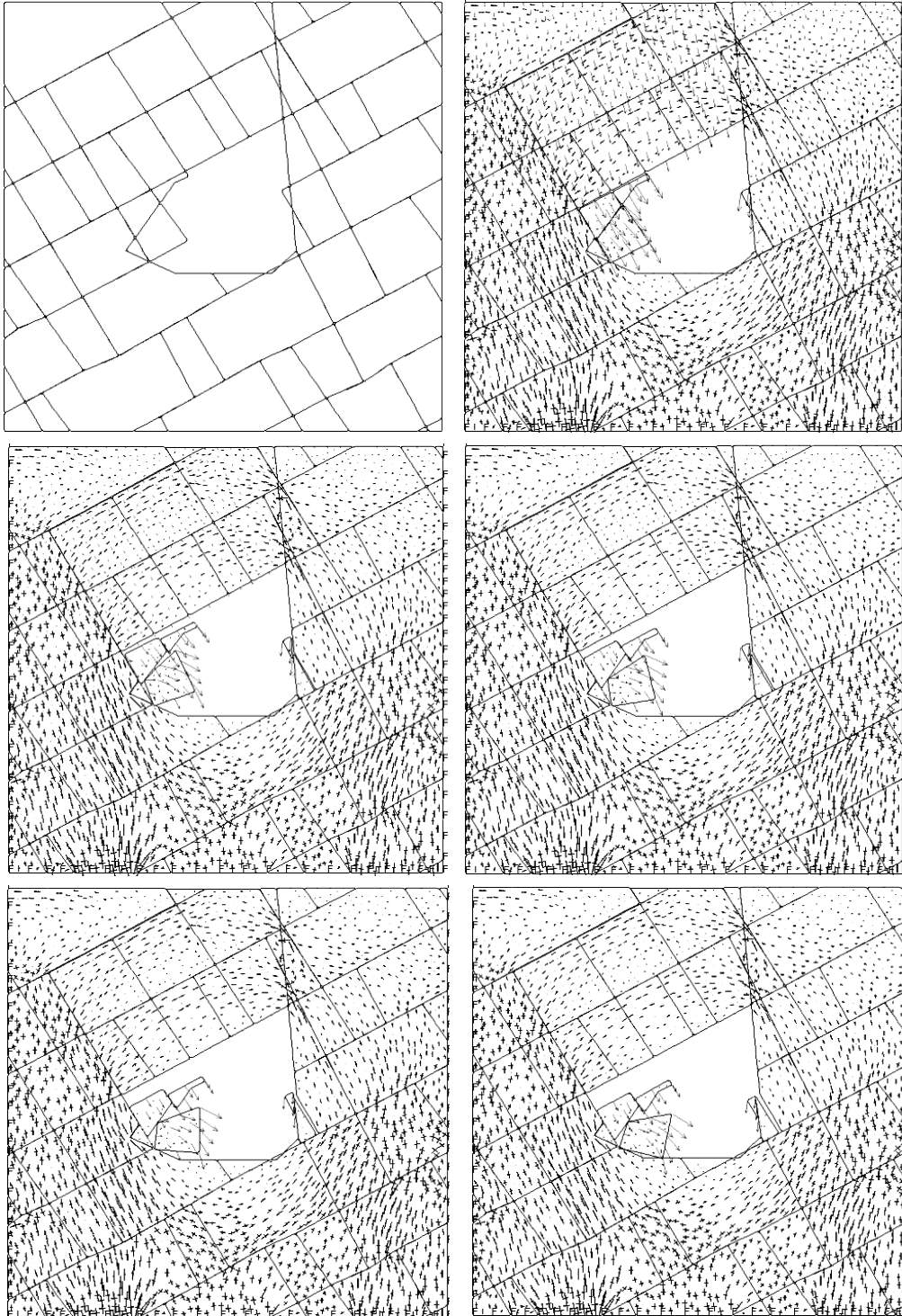
5. Khối E rơi và tiếp theo là F
6. Khối F quay theo chiều kim đồng hồ và trượt lở

Có rất nhiều yếu tố có thể làm gia tăng hiện tượng phá hủy trong quá trình tồn tại của hang karst. Nước ngầm có thể làm mềm yếu dần các mặt khe nứt trong khối đá, cụ thể làm giảm khả năng liên kết, chống trượt. Nước ngầm có thể bào mòn các khe nứt và đưa các sản phẩm phong hóa mềm yếu, trơn phủ lên mặt các khe nứt, do vậy cũng làm giảm khả năng chống trượt của các khe nứt. Tuy nhiên nếu nước ngầm chứa thành phần các bo nát bị hòa tan và tạo nhũ trên các mặt khe nứt thì sẽ có thể gây tác động ngược lại.

Một trong các công cụ cho phép có thể mô phỏng tốt nhất quá trình phá hủy xảy ra trong các công trình ngầm, cũng như hang hốc karst, có chú ý sự có mặt của các hệ khe nứt là chương trình UDEC. Kết quả phân tích một trường hợp trên hình 6 cho thấy, các khối nêm xung quanh khoảng trống nhân tạo, trong khối đá nứt nẻ có thể rơi, sập đổ, trượt vào khoảng trống, tùy thuộc vào vị trí, thể nằm của chúng, cho phép mô phỏng các hiện tượng phá hủy các hang karst thiên nhiên rất đa dạng và phức tạp. Hình 6 thể hiện quá trình phá hủy xảy ra trong một hang karst, khi các lớp đá nghiêng 30° .



Hình 5. Quá trình phá hủy, dịch chuyển các khối nêm, khối nứt



Hình 6. Quá trình phá hủy sập, trượt trong một hang karst

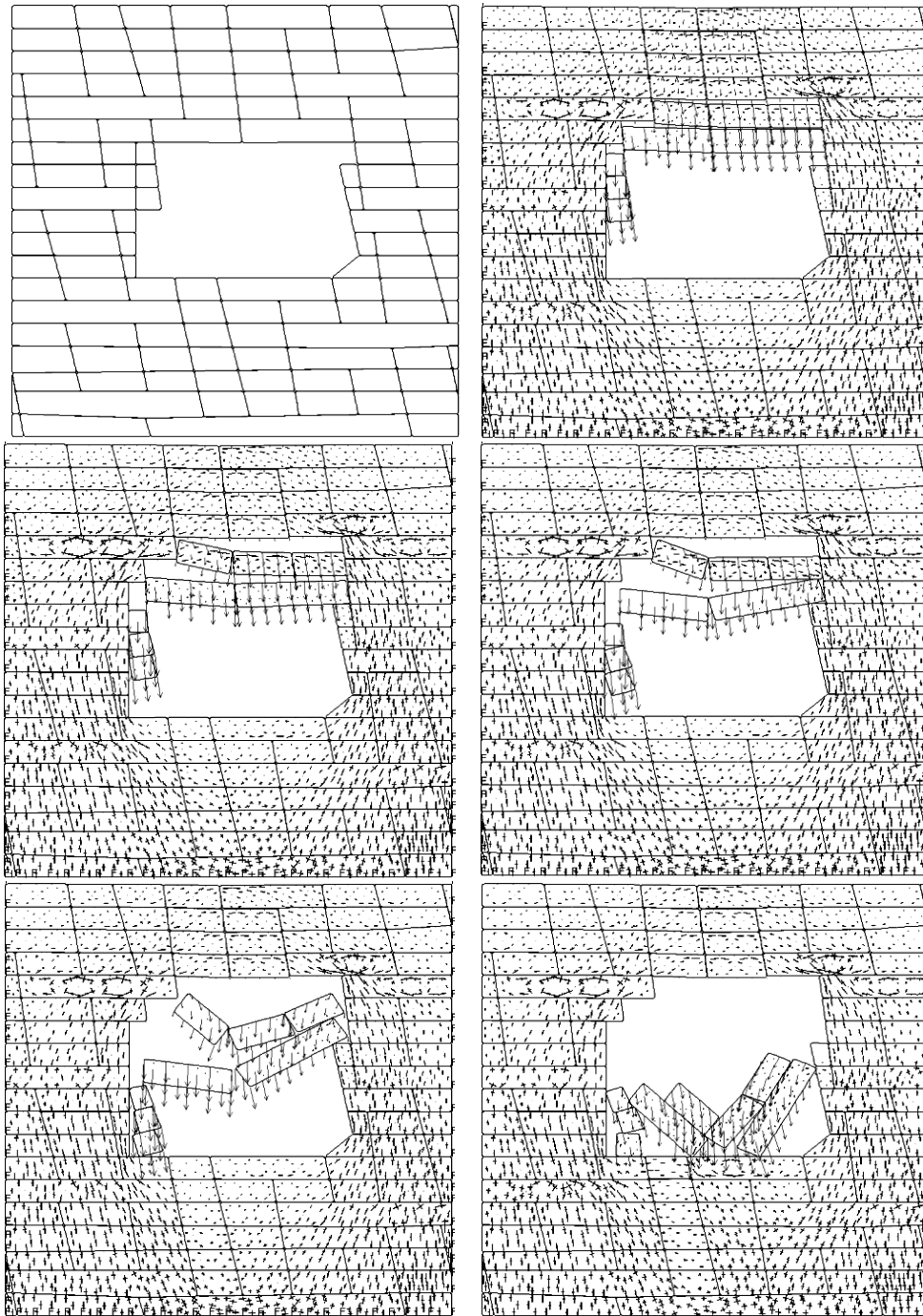
4. Cơ chế phá hủy do uốn

Các trường hợp đã phân tích, xuất phát từ giả thiết khối đá là đồng nhất và các tính chất cơ học không phụ thuộc vào hướng. Trong nhiều trường hợp khối đá vôi chứa các hang

karst có cấu trúc phân lớp, với các hệ khe nứt thường chạy vuông góc, hoặc xiên chéo các lớp. Khi đó có thể xuất hiện phá hủy do uốn gây các lớp đá. Hiện tượng này đã được Daviv [6] nghiên cứu rất sớm (1951). Trạng thái ổn định

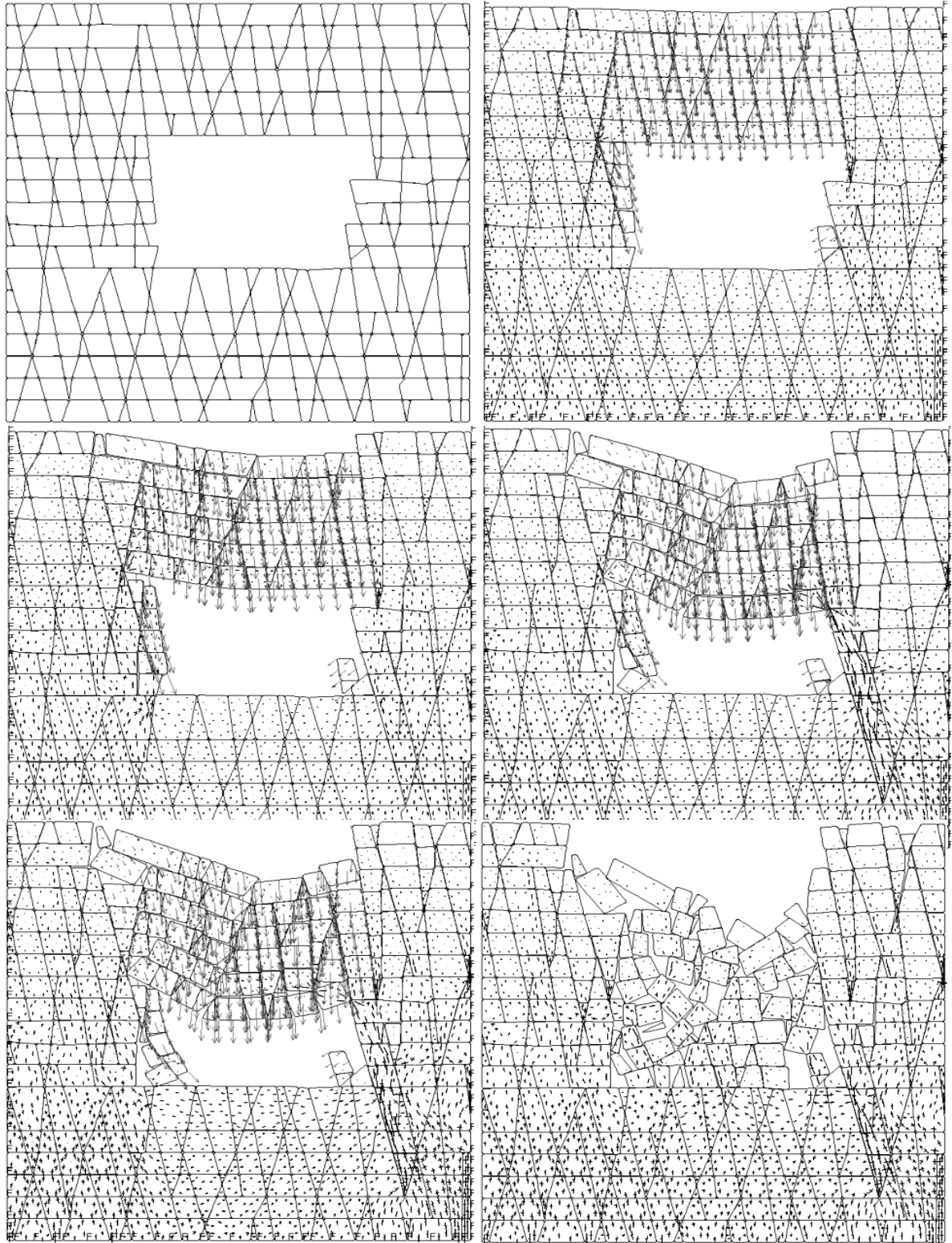
hay mất ổn định của các dầm, các công sơn phụ thuộc rõ ràng vào: đặc điểm cấu trúc và tính chất cơ học của đá, tỷ lệ giữa chiều rộng khoảng trống với chiều dày lớp, trạng thái ứng suất trong khối đá, tác động của môi trường (độ ẩm, nhiệt độ) và thời gian. Quá trình xảy ra có thể rất đa dạng, nhưng nếu chỉ chú ý đến tự trọng

của các “dầm đá” có thể hình dung quá trình xảy ra bắt đầu là sự tách lớp, tiếp theo là gãy do uốn của dầm và các dầm công sơn khi chịu tác dụng tải trọng từ các dầm đã tách ra từ phía trên. Quá trình xảy ra có thể mô phỏng bằng UDEC như trên hình 7.



Hình 7. Mô phỏng quá trình uốn gãy tại hang karst

Khi hang karst đủ rộng, nằm gần mặt đất, trong điều kiện không thuận lợi, có thêm một hệ khe nứt so với ví dụ trên hình 7, vùng phá hủy có thể tiến triển đến mặt đất, tạo thành các hố sụt lở, hay “hố tử thần”. Hình 8 là kết quả mô phỏng bằng chương trình UDEC cho trường hợp khối đá có ba hệ khe nứt.



Hình 8. Sập, sụt lở hang karst đến mặt đất

5. Kết luận và kiến nghị

Nhìn chung, từ kết quả mô phỏng quá trình sập, trượt lở xảy ra trong hang karst cho thấy sập lở xảy ra có thể theo các cơ chế phá hủy khác nhau, ví dụ như: uốn gãy, trượt lở, lật gãy... tương tự như các hiện tượng có thể quan sát được trong thực tế.

Nước ta có nhiều hang động karst đã và đang được đưa vào khai thác, sử dụng cho các mục đích khác nhau. Một số hiện tượng phá hủy, sập lở cũng đã xuất hiện. Tại nhiều vùng karst cũng đã xuất hiện các hố tử thần. Vì vậy, nghiên cứu đảm bảo ổn định của các hang karst là cần thiết, để có thể đảm bảo an toàn cho con người khi tham quan, cũng như đảm bảo sinh hoạt bình thường cho người dân sinh sống ở vùng karst, đảm bảo ổn định cho các công trình xây dựng ở vùng có hang karst, thông qua dự báo tai biến có thể xảy ra. Mặt khác, tại các vùng có hang karst cũng đã, đang và sẽ tiến hành xây dựng các công trình trên và trong lòng trái đất. Nghiên cứu, phân tích ảnh hưởng của hang karst đến các công trình cần được xúc tiến.

Một số kết quả phân tích và tổng hợp cho thấy hiện tượng phá hủy tại các hang karst rất đa dạng, phụ thuộc nhiều vào đặc điểm cấu trúc địa chất của khối đá và thời gian. Do vậy, để có thể phân tích, dự báo tai biến phá hủy hang karst, cần thiết phải triển khai các nghiên cứu địa chất, nghiên cứu sự phụ thuộc vào thời gian của các tính chất cơ học của các loại đá, tại các nơi có hang karst, đặc biệt là các vùng đang khai thác hang karst với mục tiêu du lịch. Trong

điều kiện nhiệt đới của nước ta, các tác nhân phong hóa khác cũng cần được chú ý nghiên cứu, trong phân tích ổn định hang karst. Trên cơ sở đó sẽ có được các biện pháp giữ ổn định hang karst.

Lời cảm ơn: Công trình được hoàn thành với sự tài trợ của Bộ Khoa học và Công nghệ Việt Nam, đề tài nghiên cứu mã số ĐT.NCCB-ĐHUD.2011-G/13. Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Quang Phích, 2007. Cơ học đá. Nhà xuất bản Xây dựng. Hà Nội.
- [2]. Hoek E., Brown E.T., 1980. Underground excavations in rock. London: Institution of Mining and Metallurgy, London
- [3]. Заславский Ю.З., Мостков В.М. Крепление подземных сооружений. Недр. 1979.
- [4]. Tharp T.M., 1995. Design against collapse of karst caverns. In Beck B.F. et., Karstgeohazards, S. 397 - 406, Rotterdam, A.A. Balkema
- [5]. Spaun G., Thuro K., 1999. Geologische Gesichtspunkte bei der Klassifizierung des Gebirges. In: Eichler K. et al. - Fels- und Tunnelbau, Verwitterung und Verbauung, Baustoffe und Umwe.
- [6]. Davies W.E., 1951. Mechanics of cavern breakdown. National Speleological Society Bulletin, v. 13, S. 36 – 43.

SUMMARY

**Analysis on collapse mechanism of karst caves
by using UDEC**

Nguyen Quang Minh, Nguyen Quang Phich
Hanoi University of Mining and Geology

One of the formation of sinkholes in the last time in Vietnam has his reason by collapse of karst caves. This is a dangerous form of geohazards. In order to forecast of karst sinkhole, it is necessary to investigate on the mechanism of karst cave collapse. The paper presents some investigation results to show different causes and modes of collapse by using UDEC.