



BAN BIÊN TẬP

- ĐỖ NHƯ TRĂNG
- PHẠM QUỐC TUẤN

TRONG SỐ NÀY

LỜI BAN BIÊN TẬP

THÔNG TIN VSRM

Hội nghị Khoa học Toàn quốc “Cơ học đá - Những vấn đề đương đại” thành công tốt đẹp

An Nhiên

THÔNG TIN KHOA HỌC- TECHNICAL NOTE:

Mô hình dòng chảy trong môi trường rỗng và nứt bằng phương pháp phương trình tích phân suy biến

Vũ Minh Ngọc

THÔNG TIN VSRM

Giới thiệu Hội nghị Cơ học đá vùng Châu Á – ARMS 12-2022, Hà Nội, Việt Nam

LỜI BAN BIÊN TẬP

Các bạn đồng nghiệp thân mến!

Trong tay Bạn là số 7 (Quý 3-2021) của Bản tin với tên gọi “*Bản tin VSRM letters*” – Bản tin được xuất bản dưới dạng e-Newsletter, ấn bản email điện tử và là bản tin lưu hành nội bộ của Hội Cơ học đá chúng ta. Chúng ta có thể thấy hình trên trang bìa là thông tin về **Hội nghị Khoa học Toàn Quốc “Cơ học Đá – Những vấn đề Đương Đại”- VIETROCK2021** do Hội Cơ học Đá Việt Nam, Hội Công nghệ Khoan – Khai thác Việt Nam, Trường Đại học Dầu khí Việt Nam (PVU) đồng tổ chức, Hội nghị Vietrock2021 đã diễn ra thành công tốt đẹp theo hình thức trực tuyến. Trong số này, Bản tin VSRM letters xin đăng lại bài báo của tạp chí Petrotimes ngày 16/10/2021 của tác giả An Nhiên về thành công tốt đẹp của hội nghị.

Trong Bản tin này Ban biên tập sẽ lần lượt giới thiệu các thành quả nghiên cứu trong lĩnh vực Cơ học đá và Công trình của các đồng nghiệp là nhà nghiên cứu, kỹ sư, chuyên gia người Việt Nam ở trong và ngoài nước.

Ban Biên tập “*Bản tin VSRM letters*” mong nhận được sự cộng tác, sự hưởng ứng về tinh thần, tài trợ về vật chất của các Hội viên và đồng nghiệp thông qua các bản tin gửi về Ban Biên tập.

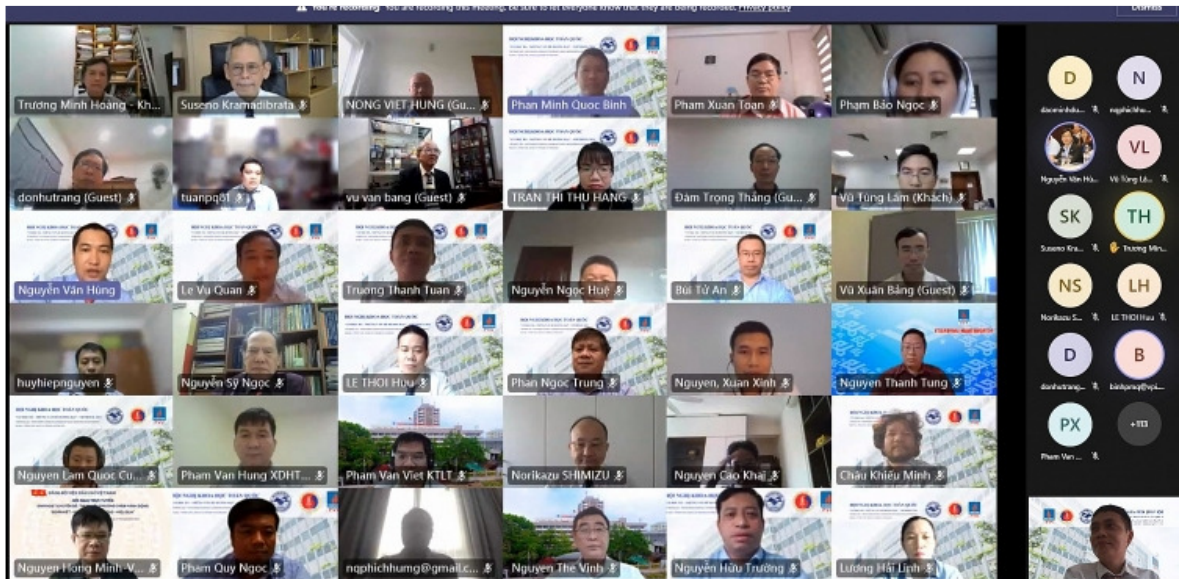
THÔNG TIN VSRM

HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC “CƠ HỌC ĐÁ - NHỮNG VẤN ĐỀ ĐƯƠNG ĐẠI” THÀNH CÔNG TỐT ĐẸP

AN NHIÊN

(PetroTimes) - Sáng ngày 16/10/2021, Hội nghị Khoa học Toàn quốc “Cơ học đá - Những vấn đề đương đại” – VIETROCK 2021 đã diễn ra theo hình thức trực tuyến (Online) trên nền tảng MS Teams với sự phối hợp đồng tổ chức của Hội Cơ học đá Việt Nam (VSRM), Hội Công nghệ Khoan – Khai thác Việt Nam (VADPT) và Trường Đại học Dầu khí Việt Nam (PVU).

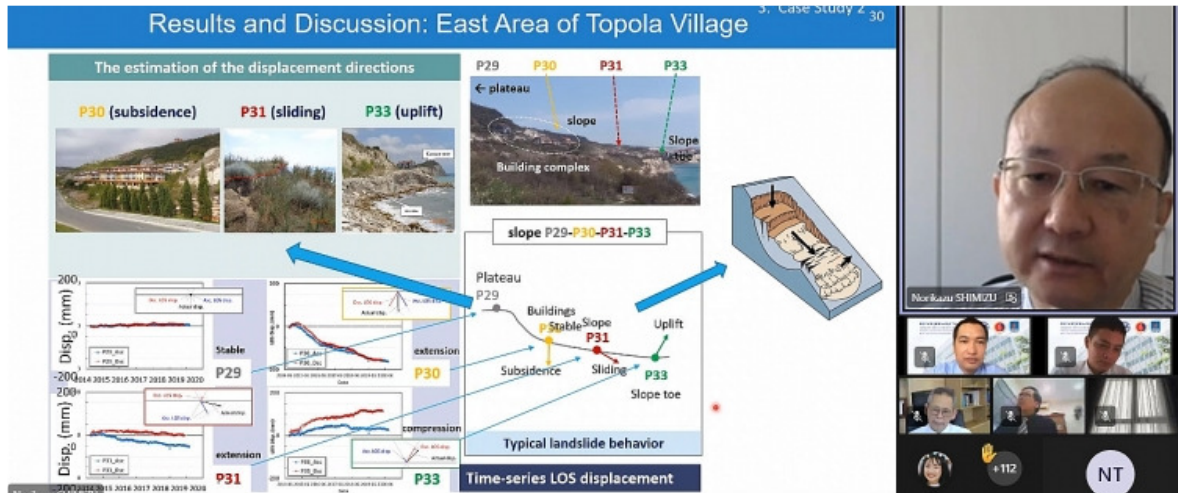
Tham dự hội nghị có GS.TS. Suneno Kramadibrata - Phó Chủ tịch Hội Cơ học đá Thế giới (ISRM), GS.TS. Đỗ Như Tráng - Chủ tịch Hội Cơ học đá Việt Nam, PGS. TS. Nguyễn Xuân Thảo - Chủ tịch Hội Công nghệ Khoan – Khai thác Việt Nam, TS. Phan Ngọc Trung - Thành viên HĐTV Tập đoàn Dầu khí Quốc gia Việt Nam, TS. Phan Minh Quốc Bình - Hiệu trưởng Trường ĐH Dầu khí Việt Nam; Hội nghị thu hút sự tham dự của trên 130 đại biểu là các chuyên gia, nhà khoa học và giảng viên đến từ trong nước và quốc tế (Nhật, Pháp, Indonesia, Trung Quốc, Đài Loan).



Hội nghị thu hút sự tham dự của trên 130 đại biểu là các chuyên gia, nhà khoa học và giảng viên đến từ trong nước và quốc tế (Nhật, Pháp, Indonesia, Trung Quốc, Đài Loan)

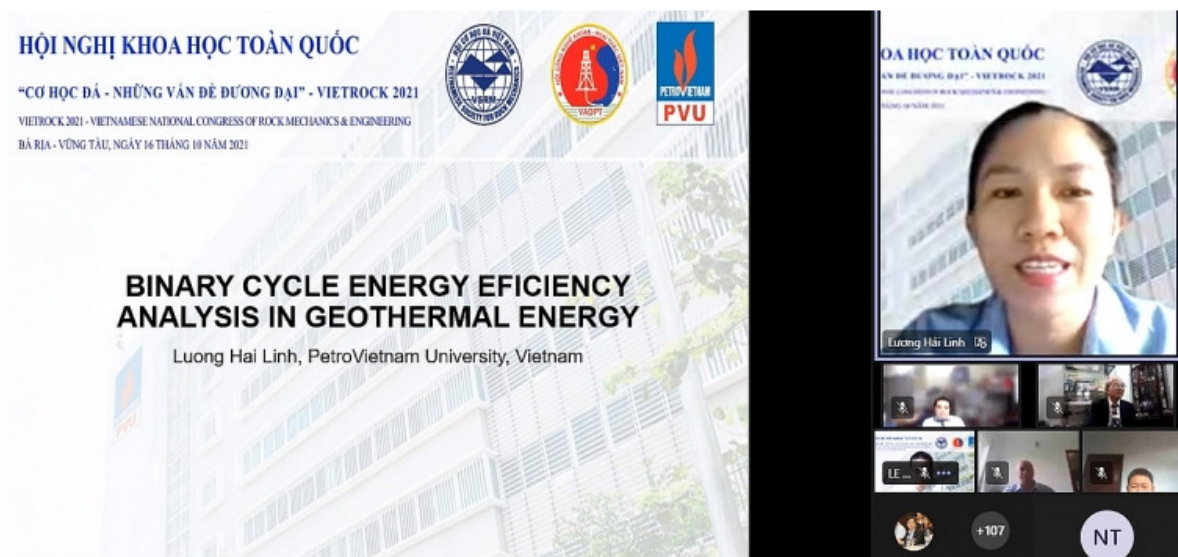
Phát biểu khai mạc, GS.TS. Đỗ Như Tráng - Chủ tịch Hội Cơ học đá Việt Nam (VSRM) cho biết: Hội nghị Khoa học Toàn quốc “Cơ học đá - Những vấn đề đương đại” năm 2021 là bước phát triển tiếp nối truyền thống thường xuyên, liên tục của Cơ học đá Việt Nam kể từ lần Hội thảo khoa học đầu tiên năm 1984 đến nay. Đặc biệt, Hội nghị lần này tổ chức trong tình hình cơ bản đại dịch Covid-19 đang hoành hành dữ dội trên toàn cầu. Liên tục từ đầu năm 2020, Việt Nam phải gồng mình “chống dịch như chống giặc”, nhiều cán bộ cơ học đá Việt Nam vừa là chiến sỹ trên mặt trận chống dịch vừa tích cực tham gia chuẩn bị mọi mặt cho Hội nghị. Vượt qua những khó khăn của dịch bệnh, Ban Tổ chức rất vui mừng khi Hội nghị được tổ chức với sự phối hợp của 3 đơn vị là Hội Cơ học đá Việt Nam (VSRM), Hội Công nghệ Khoan - Khai thác Việt Nam (VADPT) và Trường Đại học Dầu khí Việt Nam, cùng sự tham gia trình bày các báo cáo chính của 3 nhà khoa học nổi tiếng quốc tế.

GS.TS. Suneno Kramadibrata - Phó Chủ tịch Hội Cơ học đá Thế giới (ISRM) chia sẻ: Tôi cảm thấy rất vui và hân hạnh khi được tham gia Hội nghị Khoa học Toàn quốc “Cơ học đá - Những vấn đề đương đại” năm 2021 của các bạn. Tôi tin rằng, hội nghị với các chuyên đề thú vị sẽ tạo cơ hội quý giá cho các học giả, nhà khoa học nghiên cứu, chuyên gia trong ngành trao đổi kiến thức và kinh nghiệm về cơ khí đá và kỹ thuật đá để cùng nhau phát triển bền vững lĩnh vực này tại Việt Nam nói riêng và khu vực Châu Á nói chung.



Áp dụng kỹ thuật *DinSAR* để giám sát sạt lở và biến dạng núi lửa do GS.TS. Norikazu Shimizu, Đại học Yamaguchi, Nhật Bản trình bày

Trong khuôn khổ hội nghị, tại phiên tổng thể, các đại biểu nghe các báo cáo khoa học của 3 nhà khoa học nổi tiếng quốc tế bao gồm: Áp dụng kỹ thuật *DinSAR* để giám sát sạt lở và biến dạng núi lửa do GS.TS. Norikazu Shimizu, Đại học Yamaguchi, Nhật Bản trình bày; N110 + N00 do GS.TS. He Manchao, Đại học Mỏ & Công nghệ Trung Quốc trình bày; Vai trò của Cơ học Đá trong Phát triển Khai thác ở Indonesia do GS.TS. Suseno Kramadibrata, Phó chủ tịch Hội cơ học đá Thế giới (ISRM) trình bày.



Hội nghị đã tập trung trao đổi, chia sẻ các kết quả nghiên cứu và ứng dụng mới nhất trong một số lĩnh vực được ưu tiên của Đá; ứng dụng của Cơ học đá từ khai thác dầu khí, khai thác than, xây dựng các công trình giao thông, thủy lợi, dân dụng tới phòng chống thiên tai, bảo vệ môi trường và nghe các báo cáo tiêu biểu: Phân tích hiệu suất năng lượng chu trình binary trong năng lượng địa nhiệt do ThS. Lương Hải Linh, Trường Đại học Dầu khí Việt Nam trình bày; Xây dựng mô hình địa cơ học và dự đoán khả năng sinh hạt rắn ở một mỏ thuộc bể Nam Côn Sơn, Việt Nam do ThS. Nguyễn Lâm Quốc Cường, Viện Dầu khí Việt Nam trình bày; Ứng dụng công nghệ bức xạ từ để nghiên cứu các dị thường cấu trúc địa chất trong đá móng và tìm kiếm tài nguyên khoáng sản do TS. Vũ Văn Bằng, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam trình bày; Về quá trình biến đổi cơ học xung quanh hầm lò trong khối đá có đứt gãy địa chất do GS.TS. Nguyễn Quang Phích, Trường Đại học Văn Lang trình bày...



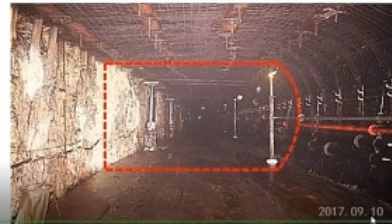
◆ Field Application Effects



a. Arc coal side formation



b. Entry formation (Before withdraw support)



c. Entry formation (After withdraw support)



d. 100 m in front of the mining face

ỨNG DỤNG CN BỨC XẠ TỬ ĐỂ NGHIÊN CỨU CÁC DỊ THƯỜNG CẤU TRÚC ĐỊA CHẤT TRONG ĐÁ MỎNG VÀ TÌM KIẾM TÀI NGUYÊN KHOÁNG SẢN

PHẦN II

1. Khả năng ứng dụng của công nghệ bức xạ tử

Vô cùng rộng rãi – có thể tác động vào mọi góc ngách hoạt động sống của con người kể cả lĩnh vực kiểm tra và chăm sóc sức khỏe. Riêng đối với ngành:

- **Địa chất khoáng sản** – Phát hiện và định vị hầu hết các loại mỏ, tài nguyên thiên nhiên kể cả dầu khí
- **Cơ học đá** – Phát hiện và định vị hầu hết các cấu trúc dị thường địa chất tồn tại trong đá gốc:
 - + Đứt gãy kiến tạo, đới dập vỡ kiến tạo khô và chứa nước
 - + Hang hốc karst ngầm, trượt xói ngầm khô và chứa nước,
 - + Các tầng đá chứa quặng mỏ các loại, đặc biệt các bể dập vỡ rỗng lớn chứa dầu khí,
 - + Kể cả chuyển vị taluy âm và đường đường giao thông qua vùng núi đá...



Một số chuyên đề được các nhà khoa học trình bày tại Hội nghị

Phát biểu tại Hội nghị, TS. Phan Minh Quốc Bình - Hiệu trưởng Trường Đại học Dầu khí Việt Nam vui mừng chia sẻ: Chúng tôi nhận được gần 150 bài báo với hơn 100 nhà khoa học tham gia gửi bài và tham dự đến từ Nhật Bản, Pháp, Đài loan, Indonesia và Việt Nam. Đặc biệt, 35 bài báo xuất sắc đã được lựa chọn và đăng tải trong Tuyển tập công trình khoa học Hội nghị Khoa học Toàn quốc “Cơ học đá - Những vấn đề đương đại – VIETTROCK 2021”.



TS. Phan Minh Quốc Bình – Hiệu trưởng PVU phát biểu tại Hội nghị

"Tôi tin rằng hội nghị sẽ là một sự kiện vô cùng đáng nhớ, vì không chỉ được tổ chức trực tuyến do dịch bệnh Covid-19 kéo dài, còn mang tính chuyên môn, kết quả nghiên cứu có giá trị, ý nghĩa thực tiễn cao, góp phần vào việc phát triển kinh tế của đất nước, đồng thời, hội nghị cũng mang lại những ý tưởng mới và kinh nghiệm thực tiễn, để thiết lập quan hệ hợp tác, nghiên cứu và tìm kiếm những đối tác trong nước và quốc tế cho hướng hợp tác tương lai. Bên cạnh đó, chúng tôi cũng rất vui mừng khi được giới thiệu đến các đại biểu hiểu thêm về ngôi Trường Đại học Dầu khí Việt Nam với sứ mệnh đào tạo nguồn nhân lực chất lượng cao, gắn nghiên cứu khoa học, đào tạo với ứng dụng thực tiễn sản xuất kinh doanh của Ngành Dầu khí". TS Phan Minh Quốc Bình nói.

Tại hội nghị, TS. Phạm Quốc Tuấn, Phó Chủ tịch VSRM cũng đã giới thiệu đến các đại biểu Hội nghị Cơ học đá vùng Châu Á - ARMS12 năm 2022 sẽ diễn ra tại Hà Nội.



PGS. TS. Nguyễn Xuân Thảo - Chủ tịch Hội công nghệ khoan - Khai thác Việt Nam (VADPT) phát biểu bế mạc Hội nghị

Phát biểu bế mạc hội nghị, PGS. TS. Nguyễn Xuân Thảo, Chủ tịch Hội công nghệ Khoan - Khai thác Việt Nam (VADPT) thay mặt Ban tổ chức gửi lời cảm ơn sự tham gia nhiệt tình của các đại biểu, các nhà khoa học trong và ngoài nước, sự thảo luận trao đổi sôi nổi cũng như các nghiên cứu sâu của các nhà khoa học trong vấn đề đương đại của cơ học đá Việt Nam phục vụ sự phát triển kinh tế đất nước và hẹn gặp trong kỳ Hội nghị Cơ học đá vùng Châu Á - ARMS12 năm 2022.

**MÔ HÌNH DÒNG CHẢY TRONG MÔI TRƯỜNG RỖNG VÀ NÚT
BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHƯƠNG TRÌNH TÍCH PHÂN SUY BIẾN**

***(Modeling of fluid flow through a fractured porous medium
by using a single singular integral equation)***

VŨ MINH NGỌC

Viện Nghiên cứu Chất thải Hạt nhân Pháp

LỜI BAN BIÊN TẬP: Tiến sỹ Vũ Minh Ngọc, sinh năm 1983 tại Nam Định, hiện đang là senior researcher trong lĩnh vực Địa cơ học (geomechanic) và Xây dựng tại Viện Nghiên cứu Chất Thải Hạt Nhân của Pháp. Hướng nghiên cứu của TS Vũ Minh Ngọc tập trung vào tính toán kết hợp thủy-nhiệt-cơ của môi trường rỗng ; ứng xử phi tuyến đàn-dẻo-nứt-giảm cứng (elasto-visco-plastic damage) của địa vật liệu (đá, bê tông, đất, ...); ứng xử hầm sâu; dòng chảy trong môi trường nứt và rỗng; phá hủy thủy lực. Phương pháp tiếp cận mà TS Vũ Minh Ngọc sử dụng bao gồm cả lý thuyết, phương pháp số, thí nghiệm trong phòng thí nghiệm và hiện trường. Là chủ nhiệm các đề tài về mô hình hóa địa cơ học liên quan đến lưu giữ chất thải hạt nhân trong các tầng địa chất sâu, TS Vũ Minh Ngọc tham gia các dự án quốc tế và làm việc với rất nhiều các trường đại học và viện khoa học tại Pháp và trên thế giới về địa cơ học.

Sau khi tốt nghiệp Đại học Xây Dựng Hà Nội trong chương trình đào tạo kỹ sư chất lượng cao (PFIEV) năm 2006, TS Vũ Minh Ngọc công tác giảng dạy tại bộ môn Cầu Đường Sân Bay, Học Viện Kỹ Thuật Quân Sự từ năm 2006 đến 2008. Sau đó anh theo học Cao học về Địa Kỹ Thuật tại đại học Cầu Đường Paris, ở đó anh đã tốt nghiệp thủ khoa khóa học 2008-2009 và được Hội Sinh Viên Việt Nam tại Pháp trao giải thưởng Thạc sỹ xuất sắc nhất vào năm 2009.

TS Vũ Minh Ngọc bảo vệ thành công luận án Tiến sỹ về địa cơ học cũng tại đại học Cầu Đường Paris vào năm 2012. Sau gần 10 năm làm việc nghiên cứu sau ngày bảo vệ nghiên cứu sinh, TS Vũ Minh Ngọc đã xuất bản được khoảng 80 bài báo trên các tạp chí quốc tế nổi tiếng về Địa cơ học (ISI, Q1) và hướng dẫn thành công hơn 10 nghiên cứu sinh.

Đặc biệt thành tích nổi bật của TS Vũ Minh Ngọc là anh được trao giải thưởng Tiến sỹ xuất sắc nhất Châu Âu trong lĩnh vực Địa vật liệu vào năm 2013 [1] và giành giải thưởng ITASCA vào năm 2020.

Tại số ra tháng này, Bản tin VSRM letters giới thiệu bài viết của, TS Vũ Minh Ngọc về « **Mô hình hóa dòng chảy trong môi trường rỗng và nứt bằng phương pháp phương trình tích phân suy biến** ».

Tóm tắt

Công trình nghiên cứu đưa ra cái nhìn khái quát về các hướng tiếp cận để nghiên cứu dòng chảy trong môi trường rỗng và nứt, đồng thời nêu bật ưu điểm của phương pháp phần tử biên (BEM) cũng như trả lời câu hỏi tại sao phương pháp này mặc dù rất ưu việt nhưng lại ít được sử dụng. Lời giải tổng quát lý thuyết bài toán dòng chảy trong môi trường rỗng và nứt dưới dạng một phương trình suy biến duy nhất trong bài báo này cung cấp một bước tiến trong lý thuyết để tận dụng tính ưu việt của phương pháp phần tử biên. Phương pháp điểm collocation sử dụng để đưa ra lời giải số cho bài toán môi trường có rất nhiều vết nứt cắt nhau. Ví dụ về bài toán dòng chảy qua một vết nứt trong môi trường vô hạn và ứng dụng được thảo luận ở cuối bài báo.

1. Đặt vấn đề

Dòng chảy trong môi trường nứt và rỗng là một đề tài được rất nhiều lĩnh vực quan tâm như khai thác dầu khí; địa nhiệt điện; lưu trữ chất thải hạt nhân dưới các lớp địa chất sâu; lưu trữ khí CO₂ dưới các lớp địa chất; khai thác nước ngầm; ... Tuy nhiên, xây dựng mô hình lưới để giải bài toán dòng chảy trong môi trường rỗng có chứa một mật độ rất cao các vết nứt vẫn là một thử thách lớn với những người làm nghiên cứu. Đến thời điểm hiện tại, chỉ có một vài công trình nghiên cứu sử dụng phương pháp chia lưới miền để giải quyết bài toán này, như phương pháp tập hữu hạn (FVM) [2] và phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) [3-6]. Các phương pháp này gặp khó khăn rất lớn trong việc xây dựng một cách tự động mô hình lưới phù hợp cho trường hợp chứa một số lượng lớn các vết nứt phân bố một cách ngẫu nhiên. Phương pháp phần tử biên (BEM) có tính ưu việt trong việc giảm thứ nguyên của bài toán. Thực vậy, BEM chỉ yêu cầu chia lưới trên biên, nên sẽ giảm chiều của bài toán từ 3D thành 2D và từ 2D thành 1D. Tuy nhiên, BEM truyền thống vấp phải vấn đề suy biến toán học khi môi trường có chứa nhiều đường gián đoạn. Đó là lý do tại sao, BEM không được sử dụng nhiều để giải bài toán dòng chảy trong môi trường rỗng và nứt. Có duy nhất hai công trình được công bố bởi [Rasmussen et al. \[7\]](#) và [Lough et al. \[8\]](#) có sử dụng BEM để mô phỏng dòng chảy qua môi trường rỗng có chứa vết nứt. Tuy nhiên trong hai công trình này, phương trình tích phân biên (BIE) được xây dựng một cách riêng rẽ cho môi trường rỗng và vết nứt, đồng thời sử dụng điều kiện liên tục tại đường biên giới của vết nứt. Như vậy một hệ 4 phương trình bao gồm 2 phương trình tích phân suy biến cho môi trường rỗng và vết nứt và hai phương trình điều kiện liên tục được lập lên. Các tiếp cận này không được tiếp tục mở rộng do cũng gặp khó khăn trong vấn đề chia lưới trên đường biên của vết nứt.

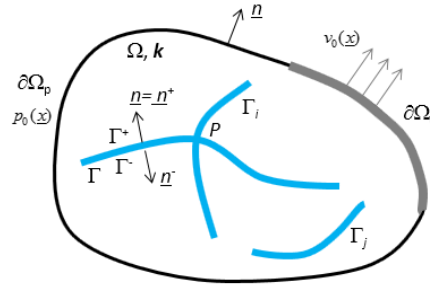
Trong thời gian gần đây, các công trình nghiên cứu của Tiến sỹ Vũ Minh Ngọc và cộng sự đã đưa ra kết quả lời giải giải tích tổng quát của dòng chảy trong môi trường nứt và rỗng dưới dạng một phương trình tích phân duy biến duy nhất. Phương pháp được áp dụng để giải cho bài toán 2D vô hạn [9-14]; 2D hữu hạn [15-18]; 3D vô hạn [19-22] và ứng dụng trong tính toán độ thấm tương đương của môi trường rỗng và nứt [23,24].

Trong bài báo này tác giả sẽ trình bày tổng hợp những kết quả giải tích và số nổi bật cho bài toán dòng chảy trong môi trường hai chiều hữu hạn rỗng có chứa vết nứt bao gồm: (1) lời giải tổng quát dưới dạng một

phương trình tích phân suy biến duy nhất cho bài toán với nhiều vết nứt cắt nhau; (2) lời giải lý thuyết tường minh cho trường hợp vết nứt; (3) lời giải số cho bài toán tổng quát nhiều vết nứt và (4) áp dụng lời giải số cho trường hợp một vết nứt duy nhất. Bài toán một vết nứt trong môi trường vô hạn rất quan trọng, vì lời giải lý thuyết của bài toán này là yếu tố quan trọng để ước lượng độ thấm tương đương của môi trường nứt và rỗng bằng phương pháp đồng nhất hóa.

2. Lý thuyết dòng chảy trong môi trường nứt và rỗng

Xem xét dòng chảy tầng trong môi trường rỗng Ω có chứa tập hợp n vết nứt $\Gamma = \cup \Gamma_i$ ($i=1, n$). Các vết nứt cắt nhau tại m điểm $P = \cup P_k$ ($k=1, m$). Như thế môi trường rỗng ko chứa vết nứt là $\Omega - \Gamma$. Trên phương diện toán học, một vết nứt được mô phỏng bởi một đường cong có chiều dày bằng 0, tức là một đường cong 1D trong không gian hai chiều 2D. Trên phương diện vật lý vết nứt được đặc trưng bởi một độ mở thủy lực. Các ký hiệu toán học của môi trường Ω được minh họa trong hình 1.



Hình 1: Môi trường nứt và rỗng [12]

Tập hợp các phương trình mô tả dòng chảy tầng trong Ω bao gồm dòng thấm Darcy trong môi trường rỗng $\Omega - \Gamma$ (phương trình 1), dòng thấm Poiseuille trong vết nứt Γ (phương trình 3), bảo toàn lưu lượng trong môi trường rỗng $\Omega - \Gamma$ (phương trình 2), trao đổi lưu lượng giữa vết nứt vào môi trường rỗng (phương trình 4) và định luật bảo toàn tại điểm giao cắt giữa các vết nứt (phương trình 5), cũng như các điều kiện biên (phương trình 6, 7).

$$\forall \underline{x} \in \Omega - \Gamma; \quad \underline{v}(\underline{x}) = -\frac{\underline{k}_m}{\mu} \cdot \nabla p(\underline{x}) = -\underline{k} \cdot \nabla p(\underline{x}) \quad (1)$$

$$\forall \underline{x} \in \Omega - \Gamma; \quad \nabla \cdot \underline{v}(\underline{x}) = 0 \quad (2)$$

$$\forall s \in \Gamma; \quad q(s) = -\frac{e^3}{12f\mu} \frac{\partial p}{\partial s} = -c \frac{\partial p}{\partial s} \quad (3)$$

$$\forall s \in \Gamma; \quad [[\underline{v}(s)]] \cdot \underline{n}(s) + \frac{\partial q}{\partial s} = 0 \quad (4)$$

$$\forall s \in P_k; \quad \sum_{j=1}^{m_k} q_j = 0 \quad (5)$$

$$\forall \underline{x} \in \partial\Omega_p; \quad p(\underline{x}) = p_0(\underline{x}) \quad (6)$$

$$\forall \underline{x} \in \partial\Omega_q; \quad -\underline{k} \cdot \nabla p(\underline{x}) \cdot \underline{n} = v_0(\underline{x}) \quad (7)$$

Trong đó $\underline{x}$ là một điểm trong môi trường rỗng; s là tọa độ cong của vết nứt; v và p là véc tơ vận tốc và áp suất của dòng chảy; q là lưu lượng trong vết nứt; km là độ thấm của môi trường rỗng; e là độ mở vết nứt; μ độ nhớt động lực của dòng chảy; f là một hệ số thực nghiệm; $[[\underline{v}(s)]] = \underline{v}^+(s) - \underline{v}^-(s)$ là độ nhảy vận tốc của dòng chảy khi vượt qua vết nứt.

3. Lời giải lý thuyết phương trình tích phân suy biến

Vu et al [15] kết hợp giữa phương trình tích phân biên (BIE) của dòng chảy trong môi trường rỗng ko có vết nứt $\Omega - \Gamma$ và phương trình trao đổi lưu lượng tại một điểm trên vết nứt (phương trình 4) và phương trình bảo toàn tại một điểm giao cắt giữa các vết nứt (phương trình 5) để suy ra lời giải cho phương trình tích phân suy biến cho toàn bộ môi trường nứt và rỗng :

$$\lambda(\underline{\xi})p(\underline{\xi}) = \int_{\partial\Omega} p(\underline{x}) \nabla G(\underline{x}, \underline{\xi}) \cdot \underline{m} ds - \int_{\partial\Omega} G(\underline{x}, \underline{\xi}) \nabla p(\underline{x}) \cdot \underline{m} ds + \sum_{i=1}^4 \int_{\Gamma^i} q(s) \frac{\partial G(\underline{x}, \underline{\xi})}{\partial s} ds \quad (8)$$

Kết hợp hai phương trình (3) và (8) :

$$\lambda(\underline{\xi})p(\underline{\xi}) = \int_{\partial\Omega} p(\underline{x}) \nabla G(\underline{x}, \underline{\xi}) \cdot \underline{m} ds - \int_{\partial\Omega} G(\underline{x}, \underline{\xi}) \nabla p(\underline{x}) \cdot \underline{m} ds - \sum_{i=1}^4 \int_{\Gamma^i} c(s) \partial_s p \frac{\partial G(\underline{x}, \underline{\xi})}{\partial s} ds \quad (9)$$

Trong đó,

$$G(\underline{x}, \underline{\xi}) = \frac{1}{2\pi\sqrt{|\underline{k}|}} \ln \left\| \sqrt{\underline{k}^{-1}} \cdot (\underline{x} - \underline{\xi}) \right\|; \quad (10)$$

$$\frac{\partial G(\underline{x}, \underline{\xi})}{\partial s} = \frac{1}{2\pi\sqrt{|\underline{k}|}} \frac{\underline{k}^{-1} \cdot (\underline{x}(s) - \underline{\xi}) \cdot \underline{t}(s)}{\left\| \sqrt{\underline{k}^{-1}} \cdot (\underline{x}(s) - \underline{\xi}) \right\|^2} \quad (11)$$

$$\underline{k}^{-1} = \frac{1}{|\underline{k}|} (k_{yy} \underline{e}_x \otimes \underline{e}_x + k_{xx} \underline{e}_y \otimes \underline{e}_y - k_{xy} \underline{e}_x \otimes \underline{e}_y - k_{xy} \underline{e}_y \otimes \underline{e}_x) \quad (12)$$

$$\sqrt{\underline{k}^{-1}} = \frac{1}{\sqrt{|\underline{k}|}} (\sqrt{k_{yy}} \underline{e}_x \otimes \underline{e}_x + \sqrt{k_{xx}} \underline{e}_y \otimes \underline{e}_y - \sqrt{k_{xy}} \underline{e}_x \otimes \underline{e}_y - \sqrt{k_{xy}} \underline{e}_y \otimes \underline{e}_x) \quad (13)$$

và $\underline{m} = \frac{k}{\sqrt{|k|}} \underline{n}$ với $\underline{n}$ là véc tơ pháp tuyến của biên $\partial\Omega$ và $\underline{t}(s)$ là véc tơ tiếp tuyến của vết nứt Γ ; λ là hệ số

biên.

Phương trình (9) là phương trình tích phân duy biến có duy nhất một ẩn số là áp suất chất lỏng p trên biên $\partial\Omega$ và trên các đường vết nứt Γ . Như thế bài toán dòng chảy trong không gian hai chiều đã biến thành bài toán 1 chiều để tính toán áp suất trên các đường một chiều ($\partial\Omega$ và Γ). Lời giải giải tích phương trình (9) chính là chìa khóa về mặt lý thuyết để có thể ứng dụng nhưng ưu việt của phương pháp phần tử biên khi giải quyết bài toán có chứa một số lượng lớn vết nứt.

4. Lời giải giải tích tường minh trong trường hợp một vết nứt có độ thấm rất lớn

Lời giải giải tích cho bài toán một vết nứt trong môi trường vô hạn là chìa khóa quan trọng nhất để ước lượng độ thấm tương đương của một môi trường rỗng và nứt. Trong mục này, tác giả sẽ đưa ra những lời giải giải tích tường minh về dòng chảy trong và xung quanh một vết nứt do một độ chênh áp không đổi ở vô cùng.

Giả sử chiều dài vết nứt là $2L$ và độ chênh áp ở vô cùng $\nabla p_\infty = \underline{A}$ (i.e. $p_\infty(\underline{x}) = \underline{A} \underline{x}$), phương trình (8) trở thành

$$p(\underline{\xi}) = \underline{A} \underline{x} - \frac{1}{2\pi\sqrt{|k|}} \int_{\Gamma} q(s) \frac{k^{-1} \cdot (\underline{x}(s) - \underline{\xi}) \cdot \underline{t}(s)}{\left\| \sqrt{k^{-1}} \cdot (\underline{x}(s) - \underline{\xi}) \right\|^2} ds \quad (14)$$

Trong trường hợp độ thấm của vết nứt rất lớn so với độ thấm của môi trường rỗng, áp suất trong vết nứt sẽ không đổi, như thế phương trình (14) trở thành phương trình tích phân hàm với ẩn là hàm lưu lượng $q(s)$ trong vết nứt. Sử dụng biến phức và các biến đổi toán học phức tạp, tác giả đã suy ra lời giải giải tích về lưu lượng trong vết nứt như sau :

$$q(s) = |T|\tilde{q}(\tilde{s}) = -2aL\sqrt{|k|}\sqrt{1-s^2/L^2} \quad (15)$$

Lời giải hàm lưu lượng trong vết nứt khá thụ vị vì lưu lượng chỉ phụ thuộc vào định thức của ma trận độ thấm mà ko phụ thuộc vào từng thành phần của ma trận đó.

Kết hợp hai phương trình (14) và (15), tác giả rút ra trường áp suất xung quanh vết nứt dưới dạng giải tích tường minh

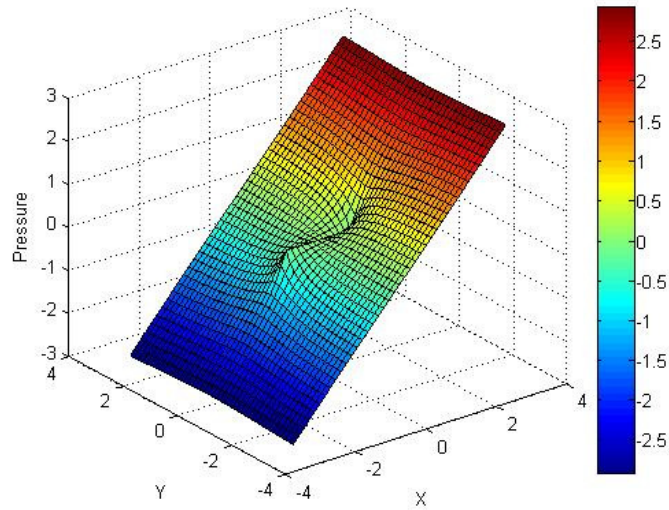
$$p(\underline{x}) = \tilde{p}(\tilde{\underline{x}}) = \tilde{\underline{A}}(\tilde{\underline{x}} + \tilde{w}\tilde{\underline{t}}) = \underline{A}(\underline{x} + w\underline{t}) \quad (16)$$

trong đó,

$$w = \frac{1}{\|\sqrt{k^{-1}} \cdot \underline{t}\|} (\underline{t}, k^{-1} \cdot \underline{x}) [\Phi(\alpha_1, \alpha_2) - 1];$$

$$\alpha_1 = \left(\frac{\underline{t}, k^{-1} \cdot \underline{x}}{\|\sqrt{k^{-1}} \cdot \underline{t}\|} \right)^2; \quad \alpha_2 = \left(\frac{\underline{x}, k^{-1} \cdot \underline{x}}{L} \right)^2 - \alpha_1 \quad (17)$$

Kết quả giải tích được chỉ ra dưới dạng hình vẽ trong hình 2. Chi tiết về quá trình phát triển toán học để suy ra kết quả trong hai phương trình (15) và (16) độc giả có thể tham khảo trong Vu [9] và Pouya et al [12].

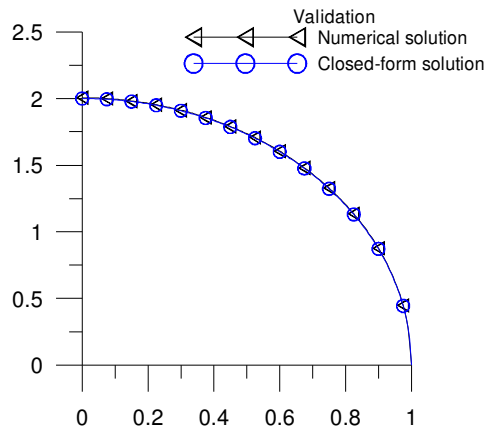


Hình 2 : Trường ứng suất giải tích xung quanh một vết nứt có độ thấm rất lớn so với môi trường rỗng [10]

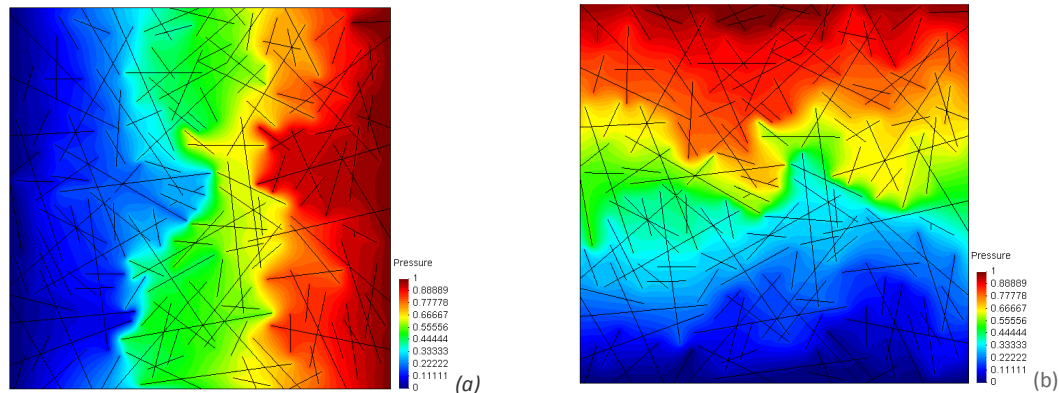
4. Lời giải số phương trình tích phân suy biến

Vu et al [15,16] đã sử dụng phương pháp số điểm collocation để giải phương trình tích phân suy biến (9) để đưa ra kết quả số cho bài toán tổng quát của dòng chảy trong môi trường rỗng chứa một số lượng bất kỳ các vết nứt. Lời giải số được kiểm tra bằng cách so sánh kết quả số cho trường hợp một vết nứt duy nhất có độ thấm lớn so với độ thấm của môi trường rỗng với lời giải giải tích tường minh trong hai phương trình (15) và (16). Hình 3 chỉ ra lời giải số về hàm lưu lượng hoàn toàn trùng với lời giải giải tích.

Hình 4 chỉ ra một ví dụ về trường áp suất chảy qua một môi trường rỗng có chứa một số lượng lớn các vết nứt. Kết quả số này giúp cho chúng ta có thể tính toán một cách chính xác độ thấm tương đương của môi trường rỗng này.



Hình 3 : So sánh lời giải giải tích và lời giải số về hàm lưu lượng trong 1 vết nứt có độ thấm rất lớn so với độ thấm của môi trường rỗng [10]



Hình 4: Pressure field solution for the case: $k = 10^{-12} \text{m/s}$, $c = 5.10^{-11} \text{m}^2/\text{s}$ et (a) $A=(1,0)$; (b) $A=(0,1)$ [15]

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày một cách tổng quan về những kết quả lý thuyết và số quan trọng nhất cho bài toán dòng chảy tầng trong môi trường rỗng và nứt, bao gồm:

- phương trình tích phân suy biến duy nhất miêu tả dòng chảy trong môi trường nứt và rỗng trong đó hàm ẩn số là trường áp suất trên biên và vết nứt;
- hàm giải tích tường minh của trường áp suất xung quanh vết nứt và hàm lưu lượng trong một vết nứt có độ thấm lớn hơn rất nhiều độ thấm của môi trường rỗng vô hạn;
- kiểm tra lời giải số bằng cách so sánh lời giải số với lời giải giải tích tường minh cho bài toán một vết nứt trong môi trường rỗng vô hạn và áp dụng lời giải số cho bài toán chứa rất nhiều vết nứt.

Sự xuất hiện lời giải tổng quát của dòng chảy trong môi trường rỗng và nứt dưới dạng một phương trình tích phân suy biến duy nhất giúp cho tính ưu việt của phương pháp phân tử biên là làm giảm không gian của bài toán được phát huy.

Tài liệu tham khảo

1. <https://dantri.com.vn/giao-duc-huong-nghiep/nghien-cuu-sinh-viet-nam-duoc-trao-giai-luan-an-tien-si-xuat-sac-nhat-1383023191.htm>
2. Bogdanov II, Mourzenko VV, Thovert JF, Adler PM. Effective permeability of fractured porous media in steady state flow. *Water Resources Research* 2003; 39: 1-16.
3. Lang PS, Paluszny A, Zimmerman W. Permeability tensor of three-dimensional fractured porous rock and a comparison to trace map predictions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 2017; 119: 6288-6307.
4. Pouya A. A finite element method for modeling coupled flow and deformation in porous fractured media. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics* 2015. 39(16): 1836–1852.
5. Fracsima. A Finite Element code for fractured media. Disroc User Manual 2017. www.fracsima.com.
6. Pouya A, Vu MN, Ghabezloo S, Bendjeddou Z. Effective permeability of cracked unsaturated porous materials. *International Journal of Solids and Structures* 2013; 50 (20): 3297-3307.
7. Rasmussen TC, Yeh TCJ, Evans DD. Effect of variable fracture permeability/matrix permeability ratios on three-dimensional fractured rock hydraulic conductivity. *Proceedings of the Conference on Geostatistical, Sensitivity, and Uncertainty Methods for Ground-Water Flow and Radionuclide Transport Modeling*. San Francisco, California, edited by B. E. Buxton (Batelle Press, Columbus, OH, 1987).
8. Lough MF, Lee SH, Kamath J. An efficient boundary integral formulation for flow through fractured porous media. *J. Comput. Phys* 1998; 143:462-483.
9. Vu MN. Modélisation des écoulements dans des milieux poreux fracturés par la méthode des équations intégrales singulières. PhD Thesis. Ecole des Ponts ParisTech 2012.
10. Pouya A, Vu MN. Numerical modelling of steady-state flow in 2D cracked anisotropic porous media by singular integral equations method. *Transport in Porous Media* 2012; 93(3): 475-493.
11. Pouya A, Ghabezloo S. Flow around a crack in a porous matrix and related problems. *Transport in Porous Media* 2010; 84(2): 511-532.
12. Pouya A, Vu MN, Pham DT, Trieu HT, Nguyen ST, To QD, Nguyen-Thoi T. Some analytical solutions for fluid flow in and around a single fracture in a porous formation based on singular integral equation. *Engineering Analysis with Boundary Elements* 2020; 118: 32-40.
13. Pouya A, Vu MN. Modeling steady-state flow in fractured porous rocks by singular integral equations method. 13th International Conference of the International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics, Melbourne, Australia, 9-11 May 2011.
14. Pouya A, Vu MN, Seyedi D. Modelling effective permeability of fracture networks in permeable rock formation by singular integral equations method. 6th International Conference on Computational and Experimental Methods in Multiphase and Complex Flow, Jun 2011, Kos, Greece, pp.287 – 298.
15. Vu MN, Nguyen ST, Vu MH. Modeling of fluid flow through fractured porous media by a single boundary integral equation. *Engineering Analysis with Boundary Elements* 2015; 59: 166–171.
16. Vu MN, Pouya A, Seyedi DM. Theoretical and numerical study of the steady-state flow through finite fractured porous media. *International Journal of Numerical and Analytical Methods in Geomechanics* 2013; 37: 2257–2277.
17. Seyedi D, Vu MN, Pouya A. A two-scale hydromechanical model for fault zones accounting for their heterogeneous structure. *Computers and Geotechnics* 2015;68: 8-16.

18. Seyedi D, Duceillier A, Vu MN, Pouya A. A two-scale model for simulating the hydromechanical behavior of faults during CO₂ geological storage operation. 45th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, San Francisco, June 26-29, 2011.
19. Vu MN, Pouya A, Seyedi DM. Effective permeability of three-dimensional porous media containing anisotropic distributions of oriented elliptical disc-shaped fractures with uniform aperture. *Advances in Water Resources* 2018 ; 118, 1-11.
20. Pouya A, Vu MN. Fluid flow and effective permeability of an infinite matrix containing disc-shaped cracks, *Advances in Water Resources* 2012; 42: 37-46.
21. Pouya A. Three-dimensional flow in fractured porous media: a potential solution based on singular integral equations. *Advances in Water Resources* 2012; 35: 30-40.
22. Vu MN, Pouya A, Seyedi DM. Modelling of steady-state fluid flow in 3D fractured isotropic porous media. Application to effective permeability calculation. *International Journal of Numerical and Analytical Methods in Geomechanics* 2013; 37: 2257–2277.
23. Vu MN, Nguyen ST, To QD, Dao NH. Theoretical predicting of permeability evolution in damaged rock under compressive stress. *Geophysical Journal International* 2017; 209(2): 1352-1361.
24. Nguyen TTN, Vu MN, Tran NH, Dao NH, Pham DT. Stress induced permeability changes in brittle fractured porous rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 2020; 127, 104224.

THÔNG TIN VSRM

Hội nghị Cơ học đá vùng châu Á ARMS 12 diễn ra từ ngày 22-26 tháng 11 năm 2022, tại Hà Nội, Việt Nam

PHẠM QUỐC TUẤN, VSRM

Hội Cơ học đá và Công trình Quốc tế (ISRM) đã phê duyệt đề xuất tổ chức Hội nghị Cơ học đá vùng châu Á ARMS 12 diễn ra từ ngày 22-26 tháng 11 năm 2022, tại thủ đô Hà Nội, Việt Nam. Hội Cơ học đá Việt Nam và Ban tổ chức đang cố gắng sớm nhất đưa các thông tin của hội nghị cập nhật lên trang web của Hội nghị là vietrocknet.org.

Dưới đây là hình ảnh giáo sư Yang Qiang (Đại học Thanh Hoa – Trung Quốc), Phó chủ tịch mở rộng của Hội Cơ học đá và Công trình Quốc tế (ISRM) tuyên bố Hội nghị Cơ học đá vùng châu Á ARMS 12 diễn ra tại Hà Nội, Việt Nam.



Thông tin Hội viên VSRM

PHẠM QUỐC TUẤN, VSRM

Xin Kính mời Quý Bạn đọc đăng ký trở thành thành viên Hội Cơ học đá Việt Nam theo cách nhấn vào đường link sau:

<https://docs.google.com/forms/d/1chenfylveUafa1i1IX7nNx3ZG0BqmZorxCuToyU8leY/prefill>.