

# Đặc điểm đá chứa cát kết tại giếng khoan ở bồn trầm tích phía Bắc nước Đức

**ThS. Liêu Kim Phượng**

Đại học Munich và Đại học Kỹ thuật Darmstadt, Đức

**GS. W.Altermann**

Đại học Pretoria, Nam Phi

**GS. R.W.Stark, TS. T.Drobek**

Đại học Kỹ thuật Darmstadt, Đức

**TS. M.Frei**

Đại học Munich, Đức

**J. Strobel**

Trung tâm Hỗ trợ Địa chất Hamburg, Đức

## Tóm tắt

*Trong thực tế, lượng dầu khí khai thác phần lớn được chứa trong tầng đá cát kết. Độ rỗng, độ thấm, hình dạng hạt và sự liên thông giữa các lỗ rỗng là những tính chất quan trọng đối với đá chứa cát kết vì có liên quan đến khối lượng hydrocarbon tích tụ và sự hút bám của chúng trong các không gian rỗng. Vì vậy, việc xác định đặc tính thạch học và hình thái lỗ rỗng của đá cát kết của một giếng khoan ở bồn trầm tích, phía Bắc nước Đức là một đóng góp quan trọng trong việc ước tính lượng hydrocarbon còn lại trong lỗ rỗng của đá.*

*Đá cát kết có kích thước hạt mịn đến trung, độ chọn lọc từ trung bình đến tốt, hạt vụn tròn đến rất tròn cạnh. Thành phần mảnh vụn chủ yếu là thạch anh, có màu trắng đục, nâu đỏ, feldspar kali và plagioclase bị phong hóa, hòa tan và những mảnh đá. Xi măng carbonate lấp đầy. Không gian lỗ rỗng được thành tạo từ sự sắp xếp của các mảnh vụn, chiếm từ 5 - 15%. Không gian lỗ rỗng thay đổi đáng kể: từ lỗ rỗng mở, có bề mặt phẳng đến lỗ rỗng có bề mặt gồ ghề và bị lấp đầy trong suốt quá trình biến đổi sau trầm tích do sự kết tinh của các khoáng vật thứ sinh và sự lấp đầy của xi măng carbonate. Kết quả của nghiên cứu này có thể giúp ước tính lượng hydrocarbon còn lại trong các lỗ rỗng của đá, góp phần quan trọng trong việc khai thác cũng như nâng cao hệ số thu hồi dầu.*

## 1. Giới thiệu

Đá chứa cát kết có đặc tính quan trọng là hệ thống lỗ rỗng mở và liên thông với nhau, thuận lợi cho quá trình chứa và di chuyển của hydrocarbon. Tuy nhiên, trong quá trình biến đổi sau trầm tích, sự kết tủa của xi măng và sự kết tinh của những khoáng vật thứ sinh trong lỗ rỗng đã tạo nên sự gồ ghề của các bề mặt lỗ rỗng và các đường dẫn. Đây là nguyên nhân dẫn đến một lượng dầu còn sót lại không thể khai thác được vì chúng hút bám trên các bề mặt lỗ rỗng này. Do đó, việc nghiên cứu về hình thái lỗ rỗng không những thể hiện được sự thay đổi của chúng do ảnh hưởng của sự biến đổi trong quá trình xuyên sinh, mà còn ước tính được lượng dầu còn sót lại trong đó.

Đá chứa cát kết của một giếng khoan ở bồn trầm tích phía Bắc nước Đức có kích thước hạt mịn đến trung, độ chọn lọc từ trung bình đến tốt, hạt vụn tròn đến rất tròn cạnh. Thành phần mảnh vụn phổ biến là thạch anh, feldspar kali và plagioclase bị phong hóa, hòa tan và những mảnh đá. Lỗ rỗng được hình thành do xi măng gắn kết những mảnh vụn lưu tinh theo dạng 3 hạt sắp xếp tạo mặt cắt lỗ rỗng dạng tam giác. Hình dạng của lỗ rỗng này thay đổi trong suốt quá trình tạo đá ngay từ những hạt trầm tích bờ rời gắn kết yếu đến tạo thành đá cứng. Sự thay đổi hình dạng của lỗ rỗng do ảnh hưởng trực tiếp trong quá trình biến đổi xuyên sinh: các hạt vụn sắp xếp lại, bị nén ép, hòa tan và bao phủ bởi các khoáng vật thứ sinh trong môi trường trầm tích.

Hình thái lỗ rỗng đã được nhiều tác giả nghiên cứu bằng phương pháp tán xạ neutron (Small-angle neutron scattering, SANS, and Ultra small angle neutron scattering, USANS) [1, 2, 3]. Gần đây, hình thái lỗ rỗng được phân tích bằng kính hiển vi laser (Confocal laser scanning microscope, CLSM) đã được nhiều tác giả ứng dụng. Menéndez, B., et al [4] đã phân tích cấu trúc 3D của đường nứt đá granite và của hệ thống lỗ rỗng của đá cát kết Fontainebleau. Chae, B.G., et al [5] phân tích sự gồ ghề của bề mặt nứt của đá granite. Petford, N., et al [6] (1999) phân tích lỗ rỗng và các đường liên kết lỗ rỗng của đá chứa cát kết phân bố theo 3 chiều. Fredrich, J. T., et al [7] đã sử dụng kính hiển vi laser (Confocal laser scanning microscope, CLSM) xác định hình thái lỗ rỗng và sự lưu thông đá cát kết Fontainebleau.

Trong nghiên cứu này, hình thái lỗ rỗng của đá chứa cát kết tại giếng khoan ở bồn trũng phía Bắc nước Đức được phân tích với kính hiển vi laser (CLSM) ở độ phóng đại 50 và 100 lần. Lỗ rỗng được thể hiện bằng cấu trúc 3D và mặt cắt ngang. Kết quả thể hiện được hình thái lỗ rỗng thay đổi do sự kết tinh của các khoáng vật thứ sinh và sự lấp đầy của xi măng trong quá trình xuyên sinh.

**2. Phương pháp phân tích**

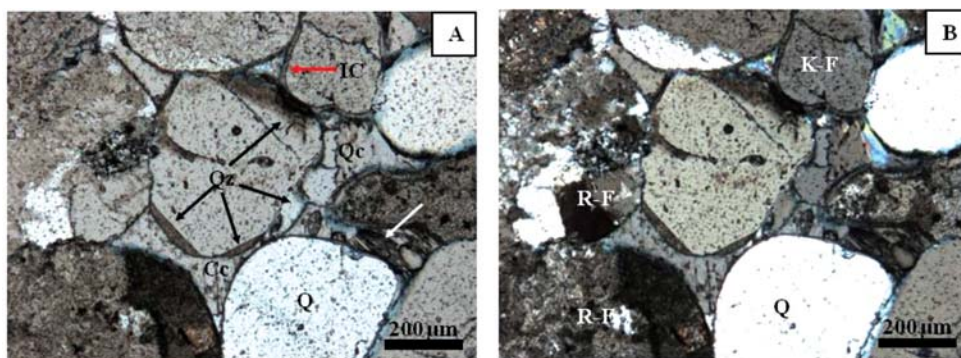
Mẫu cát kết được cắt ra từ mẫu lõi của một giếng khoan, ở bồn trũng phía Bắc nước Đức, độ sâu khoảng 5.000m. Phân nửa mẫu cát kết được phân tích thạch học bằng kính hiển vi Leica DM 2.500M. Phân nửa còn lại được tách ra những mẫu nhỏ và được dán vào bề mặt bằng nhôm có dạng hình nón, được phân tích hình dạng lỗ rỗng bằng kính hiển vi laser (CLSM, VK-8700) với chiều dài bước sóng laser 658nm. Độ phân giải vùng quét theo trục x và y là 1.280 x 1.024 pixels (với kích thước vùng phân tích là 140 x 105mm ở độ phóng đại 50 lần và 70 x 50mm ở độ phóng đại 100 lần). Độ phân giải theo trục

z là 0,5mm. Kính hiển vi laser ghi ảnh theo từng lớp với khoảng cách giữa các lớp là 0,5mm và theo độ sâu đã được thiết lập. Kết quả phân tích được thể hiện bằng ảnh 2D, 3D và mặt cắt ngang qua những lỗ rỗng.

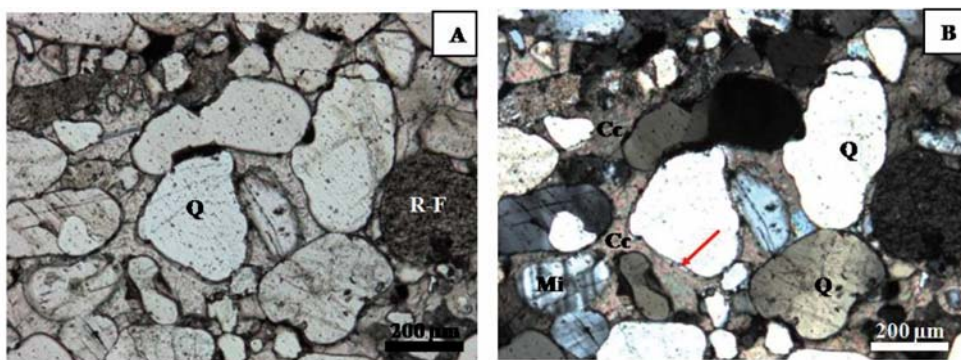
**3. Kết quả phân tích**

**3.1. Đặc điểm thạch học**

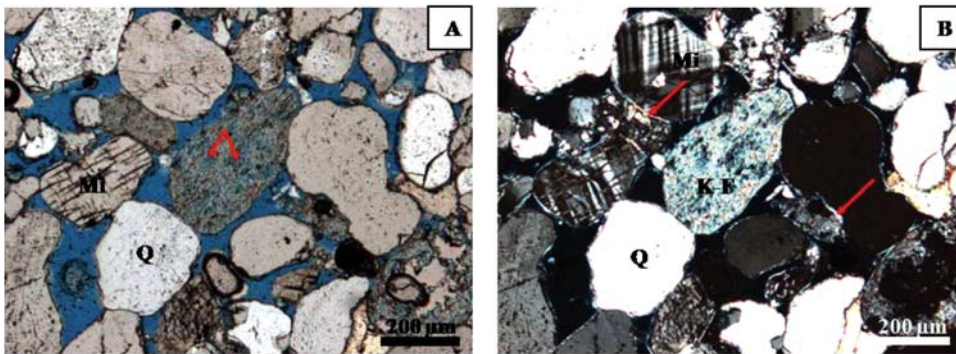
Các mẫu cát kết phân tích lát mỏng được nhuộm màu để xác định độ lỗ rỗng. Cát kết có kích thước hạt mịn đến trung, độ chọn lọc trung bình đến tốt. Các hạt vụn tròn cạnh đến rất tròn cạnh (Hình 1 và 3), đôi khi bán tròn cạnh (Hình 2). Hạt vụn phổ biến có dạng hình cầu và dạng kéo dài. Độ lỗ rỗng phân bố không đều trong các mẫu cát kết đã phân tích, chiếm khoảng 5 - 15%. Trong Hình 3, độ lỗ rỗng chiếm khoảng 15%, các lỗ rỗng này liên kết với nhau tạo thành hệ thống lỗ rỗng mở. Ngược lại, ở Hình 1 và 2, lỗ rỗng phần lớn bị xi măng carbonate mà chủ yếu là calcite lấp đầy và đôi khi là sự phát triển của thạch anh thứ sinh (Qz) trên bề mặt thạch anh và trong lỗ rỗng (Qc) và xi măng sét vì thế độ lỗ rỗng kém, dưới 5%. Thành phần mảnh vụn phổ biến là các hạt thạch anh (Q) có màu nâu



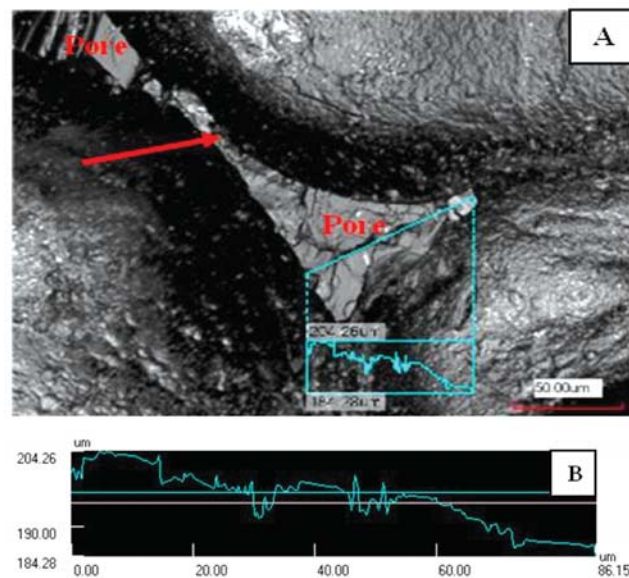
**Hình 1.** Cát kết hạt trung, chọn lọc tốt. Hạt vụn chủ yếu gồm thạch anh (Q), feldspar kali (K-F), feldspar bị hòa tan (mũi tên, hình A), mảnh đá (R-F). Xi măng chủ yếu là calcite lấp đầy (Cc), thạch anh thứ sinh (mũi tên, Qz,) phát triển trên bề mặt thạch anh và trong lỗ rỗng (Qc) và sét illite (IC) bao quanh bề mặt mảnh vụn



**Hình 2.** Cát kết hạt mịn đến trung, chọn lọc trung bình đến tốt. Hạt vụn bán tròn cạnh, có dạng hình cầu và dạng kéo dài. Mảnh vụn chủ yếu là thạch anh (Q), feldspar kali (K-F), microcline (Mi), mảnh vụn đá (R-F). Xi măng sét bao phủ bề mặt thạch anh (mũi tên, hình B) và xi măng calcite lấp đầy lỗ rỗng (Cc)



**Hình 3.** Cát kết có độ rỗng mở rất cao (màu xanh, hình A). Các hạt vụn bán tròn cạnh. Hạt vụn, chủ yếu gồm thạch anh (Q), feldspar kali (K-F, mũi tên, hình A) bị hòa tan, microlite (Mi). Xi măng sét bao phủ bề mặt mảnh vụn (mũi tên, hình B).



**Hình 4.** A: Lỗ rỗng trong đá cát kết được tạo ra bởi các hạt vụn có liên kết với nhau (mũi tên); B: Mặt cắt ngang lỗ rỗng

đỏ, mờ, màu trắng đục, chiếm khoảng 60 - 70%, các hạt feldspar (K-F), plagioclase bị hòa tan, phong hóa, bề mặt bị mờ đục và một lượng nhỏ mảnh vụn đá (R-F), ít hơn 5%. Kết quả phân tích thạch học còn thể hiện được các giai đoạn xuyên sinh trong quá trình tạo đá. Giai đoạn đầu của quá trình xi măng hóa là sự kết tinh của xi măng sét và hematite bao phủ trên bề mặt các hạt vụn (Hình 1, 2 và 3). Do ảnh hưởng của nhiệt độ, áp suất ở độ sâu chôn vùi, các hạt vụn bị hòa tan tại ranh giới tiếp xúc hạt và tạo điều kiện hòa tan các hạt vụn kém bền vững mà chủ yếu là feldspar tạo ra lỗ rỗng thứ sinh (Hình 1 và 3). Quá trình hòa tan đã sản sinh ra một lượng lớn  $\text{SiO}_2$  và các cation  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ... là nguồn bổ sung quan trọng vào thành phần nước lỗ rỗng, giúp cho sự kết tủa thạch anh thứ sinh (Hình 1) trong quá trình sau trầm tích. Xi măng calcite rất phổ biến (Hình 1 và 2) được kết tủa sau cùng

lấp đầy các lỗ rỗng và bao phủ bên ngoài xi măng sét và thạch anh thứ sinh.

### 3.2. Hình thái lỗ rỗng

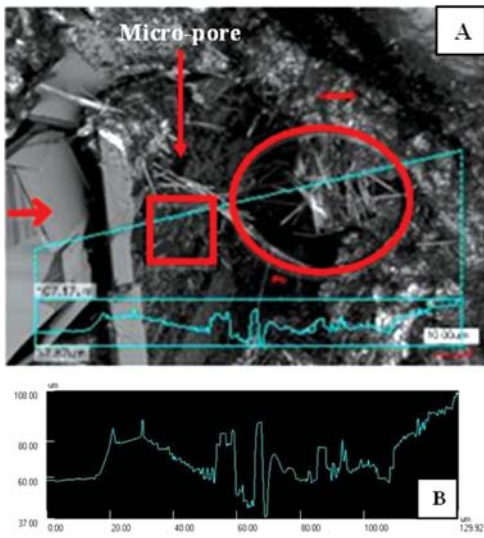
Hình thái lỗ rỗng của cát kết được gắn kết bởi các hạt vụn lưu tính, chủ yếu là hạt vụn thạch anh (kết quả phân tích thạch học). Trong quá trình biến đổi sau trầm tích, sự gia tăng độ sâu chôn vùi làm cho nước lỗ rỗng trở

thành trung tính hoặc acid yếu, tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình hòa tan các mảnh vụn kém bền vững. Quá trình hòa tan sản sinh ra nhiều ion bổ sung vào thành phần nước lỗ rỗng, giúp cho sự kết tủa của khoáng vật thứ sinh: illite, albite và xi măng calcite bao phủ trên các bề mặt mảnh vụn, trong không gian lỗ rỗng.

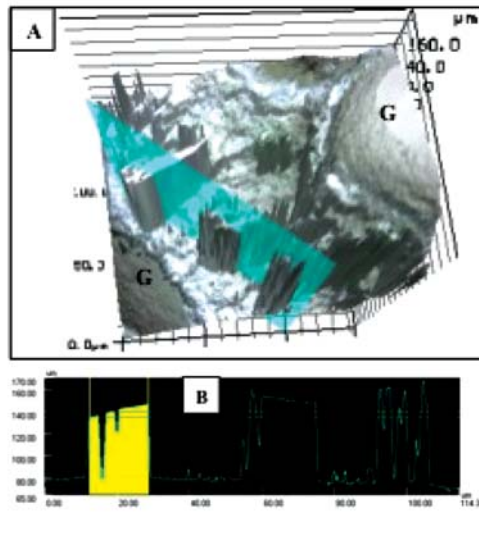
Illite xuất hiện như các sợi phát triển bắc ngang qua các không gian rỗng và phóng ra từ các bề mặt hạt vụn feldspar bị hòa tan (Hình 3A). Vì vậy, illite có thể là khoáng vật thứ sinh kết tinh từ sự hòa tan của feldspar và ở giai đoạn biến đổi xuyên sinh cao, illite được kết tinh hoàn chỉnh. Albite có dạng nửa tự hình phát triển trong không gian rỗng (Hình 3A). Albite thứ sinh được thành tạo ở điều kiện chôn vùi sâu và từ sự hòa tan của hạt vụn feldspar. Xi măng carbonate chủ yếu là calcite kết tủa sau cùng lấp đầy một số lỗ rỗng nguyên sinh giữa các hạt.

Lỗ rỗng trong đá cát kết (kết quả phân tích thạch học) được gắn kết bởi các hạt vụn dạng 3 hạt sắp xếp tạo mặt cắt lỗ rỗng dạng tam giác và liên kết với nhau (mũi tên) tạo thành lỗ rỗng hiệu dụng (Hình 4A). Trong quá trình biến đổi sau trầm tích, xi măng calcite lắng đọng và kết tủa lại trong không gian lỗ rỗng, như có thể nhìn thấy được mặt cát khai calcite (ở giữa Hình 4A). Bề mặt của xi măng calcite không phẳng, khá nhám, gồ ghề, được thể hiện bởi mặt cắt ngang, với nhiều đỉnh nhọn và trũng sâu, khoảng cách độ cao chênh lệch là  $19,98\mu\text{m}$  (Hình 4B).

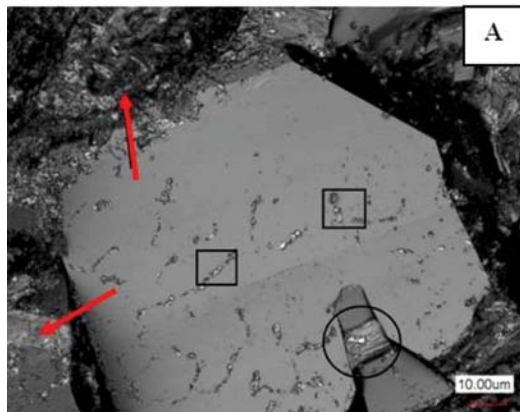
Ở độ sâu chôn vùi lớn, do ảnh hưởng của nhiệt độ, áp suất, các hạt vụn feldspar kém bền vững bị hòa tan, tạo ra những lỗ rỗng thứ sinh, đồng thời sản sinh ra dung dịch chứa các ion. Các ion này kết tinh thành các khoáng vật thứ sinh albite có dạng tựa mũi tên (Hình 5A) và illite có dạng sợi (vòng tròn, Hình 5A) trong lỗ rỗng và trên bề mặt hạt vụn feldspar bị hòa tan (hình vuông, Hình 5A). Điều này đã làm hẹp đi không gian rỗng và giảm đi độ



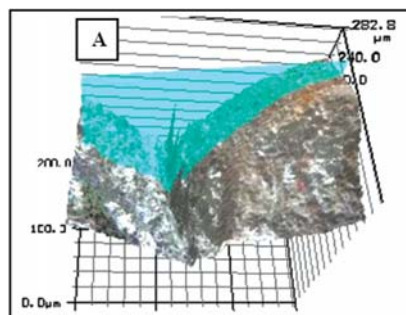
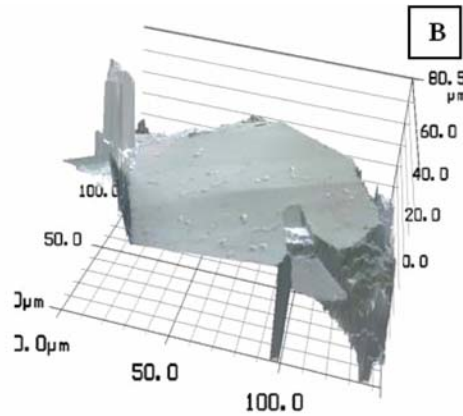
**Hình 5.** Albite thứ sinh và illite kết tinh trong không gian lỗ rỗng. Ảnh chụp bằng kính hiển vi laser (CLSM) ở độ phóng đại 100 lần



**Hình 6.** Cấu trúc 3D của lỗ rỗng. Khoáng vật thứ sinh kết tinh trong lỗ rỗng, tạo thành các tấm chắn ngang. Ảnh chụp bằng kính hiển vi laser (CLSM) ở độ phóng đại 50 lần



**Hình 7.** Albite thứ sinh kết tinh trong không gian lỗ rỗng và xi măng calcite bao phủ xung quanh. Ảnh chụp bằng kính hiển vi laser (CLSM) ở độ phóng đại 100 lần



**Hình 8.** Cấu trúc 3D của họng lỗ rỗng và mặt cắt ngang. Ảnh chụp bằng kính hiển vi laser (CLSM) ở độ phóng đại 50 lần

thấm của đá. Hình thái lỗ rỗng được thể hiện bằng mặt cắt ngang (Hình 5B).

Tương tự như thế, không gian lỗ rỗng được tạo ra bởi các ranh giới hạt và cấu trúc bên trong của chúng đã bị

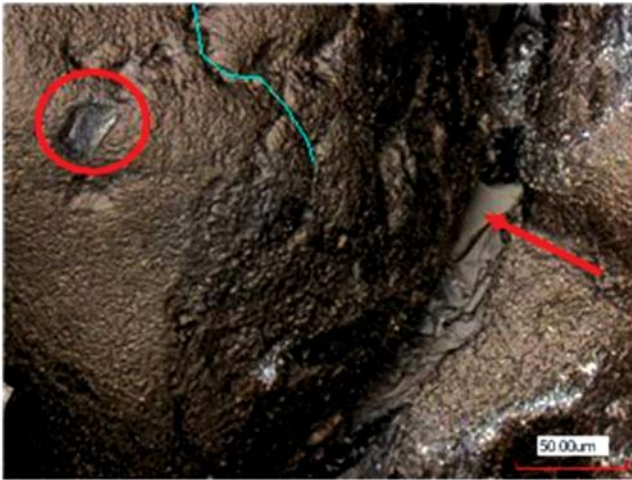
thay đổi do các tập hợp illite thứ sinh kết tinh sau, tạo thành những tấm chắn và chia không gian lỗ rỗng thành những vi lỗ rỗng (Hình 6), đã làm giảm đi sự lưu thông của chất lỏng. Ta có thể nhìn thấy được mặt cắt ngang của lỗ rỗng và các tấm chắn (Hình 6B), đồng thời bề dày của thành chắn đo được khoảng 17µm.

Không gian lỗ rỗng bị lấp đầy do sự kết tủa của xi măng và sự kết tinh của khoáng vật thứ sinh có hình dạng tự hình (Hình 7A), albite thứ sinh. Bề mặt của albite bị biến đổi nhẹ và có chứa những bao thể (hình vuông). Bao xung quanh albite, sự kết tủa của xi măng carbonate chủ yếu là calcite (mũi tên). Hình dạng 3D của albite được thể hiện trong Hình 7B.

Bên cạnh đó, các đường liên kết lỗ rỗng thông thoáng, được tạo thành từ bề mặt các hạt vụn (Hình 8A), có độ rộng khoảng 20µm (Hình 8B), chất lỏng lưu thông dễ dàng. Biến đổi sau trầm tích, họng lỗ rỗng đã bị thay đổi, bị lấp đầy do sự lắng đọng của xi măng, làm giảm đi độ rỗng hiệu dụng và độ thấm của đá (mũi tên, Hình 9). Thêm vào đó, trên bề mặt hạt vụn có nhiều vi lỗ rỗng,

nhám cũng là nguyên nhân làm cản trở sự di chuyển của chất lỏng.

Cấu trúc lỗ rỗng của đá chứa cát kết được thành tạo do sự gắn kết của các mảnh vụn, đặc biệt là hạt vụn thạch anh.



**Hình 9.** Bề mặt hạt và họng lỗ rỗng bị lấp đầy (mũi tên). Ảnh chụp bằng kính hiển vi laser (CLSM) ở độ phóng đại 50 lần

Hình thái lỗ rỗng và các họng liên kết thay đổi từ lỗ rỗng mở liên kết với nhau đến lỗ rỗng bị hẹp dần do sự kết tinh của khoáng vật thứ sinh: illite, albite và sự lấp đầy của xi măng calcite.

#### 4. Kết luận

Các mẫu đá cát phân tích có thành phần chính là thạch anh, những thành phần vụn lưu tính khác như: feldspar kali, plagioclase và một ít mảnh vụn đá. Mảnh vụn lưu tính có độ tròn cạnh đến rất tròn cạnh, đôi khi hơi tròn cạnh và có dạng hình cầu, dạng kéo dài. Các mẫu phân tích thể hiện nhiều giai đoạn biến đổi xuyên sinh phức tạp. Giai đoạn đầu của quá trình xuyên sinh, các khoáng vật sét được hình thành bao quanh các hạt lưu tính. Những giai đoạn biến đổi tiếp theo là sự kết tủa của xi măng thạch anh và albite trong các lỗ rỗng. Điều này phù hợp với kết quả nghiên cứu trước đây của tác giả Altermann, W., et al [8]. Trong những giai đoạn biến đổi xuyên sinh ở sau, illite thay thế feldspar ở những chỗ feldspar bị hòa tan và albite thứ sinh kết tinh trong lỗ rỗng (Hình 5). Giai đoạn sau cùng là sự kết tủa của xi măng calcite từ những chất lỏng đã lấp đầy các lỗ rỗng.

Hình thái lỗ rỗng cũng thay đổi tùy vào mức độ biến đổi xuyên sinh như sự lấp đầy không gian lỗ rỗng của khoáng vật thứ sinh và xi măng. Không gian lỗ rỗng thay đổi đáng kể: từ lỗ rỗng mở có bề mặt phẳng đến lỗ rỗng có bề mặt gồ ghề và bị lấp đầy trong suốt quá trình biến đổi sau trầm tích do sự phát triển của sợi illite và albite trong lỗ rỗng và sau cùng là sự lấp đầy của xi măng carbonate. Thêm vào đó, sự kết tủa của khoáng vật thứ sinh trong các đường liên thông giữa các không gian rỗng dẫn đến làm

hẹp và cô lập các lỗ rỗng từ đó làm giảm độ lỗ rỗng hiệu dụng và độ thấm của đá.

Đây là nghiên cứu cơ bản làm nền tảng cho việc nghiên cứu sự hút bám của CO<sub>2</sub>, hydrocarbon và chất lỏng trên bề mặt không gian lỗ rỗng.

#### Tài liệu tham khảo

1. F.Triolo, A.Triolo, M.M.Agamalian, J.S.Lin, R.K.Heenan, G.Lucido, R.Triolo. *Fractal approach in petrology: combining ultra small angle, small angle and intermediate angle neutron scattering*. J. Appl. Cryst. 2000; 33: p. 863 - 866.
2. D.Sen, S.Mazumder, and S.Tarafdar. *Pore morphology and pore surface roughening in rocks: a small-angle neutron scattering investigation*. Journal of Materials Science. 2002; 37: p. 941 - 947.
3. T.Drobek, J.Strobel, S.Park, K.P.Lieu, W.Altermann, H.Lemmel, P.Lindner, R. W.Stark. *Small angle neutron scattering analysis of porous reservoir rocks*. Proceedings of the Society of Core Analysts. 2011.
4. B.Menéndez, C.David, A.M.Nistal. *Confocal scanning laser microscope applied to the study of pore and crack networks in rocks*. Computer and Geosciences. 2001; 27: p. 1101 - 1109.
5. B.G.Chae, Y.Ichikawa, G.C.Jeong, Y.S.Seo, B.C.Kim. *Roughness measurement of rock discontinuities using a confocal laser scanning microscope and the Fourier spectral analysis*. Engineering Geology. 2004; 72: p. 181 - 199.
6. N.Petford, G.Davidson and J.A.Miller. *Pore structure determination using confocal scanning laser microscopy*. Phys. Chem. Earth (A). 1999; 24 (7): p. 563 - 567.
7. J.T.Fredrich, K.H.Greaves, J.W.Martin. *Pore geometry and transport properties of Fontainebleau sandstone*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci and Geomech. Abstr. 1993; 30 (7): p. 691 - 697.
8. W.Altermann, T.Drobek, M.Frei, W.M.Heckl, M.Kantioler, K.P.Lieu, R.W.Stark and J.Strobel. *Surface and wetting properties of diagenetic minerals and sedimentary grains in reservoir rocks*. Geotechnologien Science Report. 2010; 16: p. 65 - 75.