TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Bài báo khoa học

Ứng dụng logic mờ phân chia đơn vị dòng chảy và dự báo độ thấm tầng đá vôi chứa khí bể Sông Hồng

Nguyễn Hải An[1*], Nguyễn Văn Thịnh[2]

[1] Tổng Công ty Thăm dò Khai thác Dầu khí; annh1@pvep.com.vn

[2] Khoa Dầu khí, Trường Đại học Mỏ – Địa chất; nguyenvanthinh@humg.edu.vn

*Tác giả liên hệ: annh1@pvep.com.vn; Tel.: +84–912371575

Ban Biên tập nhận bài: 5/2/2022; Ngày phản biện xong: 14/3/2022; Ngày đăng bài: 25/4/2022

Tóm tắt: Việc dự báo tướng thạch học và môi trường trầm tích để xác định trạng thái thủy động lực cho các tầng đá vôi chứa dầu khí với đặc trưng địa chất riêng biệt trong suốt quá trình thành tạo cũng như các ảnh hưởng trong quá trình biến đổi thứ sinh là thách thức lớn đối với các nhà địa chất. Nghiên cứu của nhóm tác giả đã dự báo 3 tập trầm tích đá vôi trong bể trầm tích Sông Hồng trên cơ sở 6 tướng thạch học điển hình. Kết quả phân tích thạch học lát mỏng kết hợp với tài liệu địa chấn đã dự báo môi trường trầm tích của đá chứa thuộc loại khối xây rìa thềm; Sử dụng Logic mờ trong phân loại 6 tướng đá với các loại độ rỗng riêng biệt tương ứng với 6 đơn vị dòng chảy. Kết quả ứng dụng mô hình logic mờ trong việc phân loại tướng thạch học và dự báo độ thấm trên cơ sở số liệu địa vật lý giếng khoan của 3 giếng thăm dò đã được kiểm chứng tương ứng theo phương pháp truyền thống và độ thấm của mẫu lõi với mức độ thống nhất cao trên toàn khoảng vỉa đá vôi. Trên cơ sở đó, bài báo giới thiệu phương pháp ứng dụng mô hình logic mờ để xây dựng quy trình phân chia đơn vị dòng chảy và dự báo độ thấm cho các giếng không được lấy mẫu lõi tại tầng đá vôi khu vực phía Nam bể Sông Hồng.

Từ khóa: Đá vôi; Độ thấm; Đơn vị dòng chảy; Vỉa chứa; Logic mờ.

1. Mở đầu

Đá vôi (chủ yếu là thành phần carbonate) là loại đá trầm tích phổ biến, có ý nghĩa quan trọng trong công nghiệp dầu khí, với hơn 60% trữ lượng dầu và 40% trữ lượng khí trên thế giới được tích tụ trong đó. Đá vôi có một số đặc điểm khác biệt so với đá trầm tích khác về nguồn gốc thành tạo, thành phần khoáng vật, hóa học và sinh khoáng. Trầm tích vụn lục nguyên được tạo thành từ vật liệu phá hủy các đá có trước và được vận chuyển đến môi trường lắng đọng [1–2], do vậy đặc điểm cấu tạo và kiến trúc của đá trầm tích vụn phản ánh chế độ thủy động lực của vỉa chứa. Bất kỳ một tầng chứa không đồng nhất nào cũng có thể được mô tả chế độ thủy động lực bằng các đơn vị dòng chảy. Một đơn vị dòng chảy (*Hydraulic Flow Unit–HU*) được định nghĩa là một khối đại diện cơ bản của đá chứa, mà trong đó các đặc tính địa chất và tính chất vật lý thạch học ảnh hưởng đến dòng chảy của chất lưu là không đổi và khác với các đặc tính cũng như tính chất của các khối khác [3]. Không giống như các đá trầm tích vụn lục nguyên khác, các tầng đá vôi được thành tạo chủ yếu từ các chất kết tủa hoặc khung xương sinh vật trong môi trường trầm tích [4]. Vì vậy, các tầng đá vôi có một số các đặc tính rất riêng biệt về môi trường trầm tích, thành phần thạch học và đặc trưng độ rỗng–độ thấm.

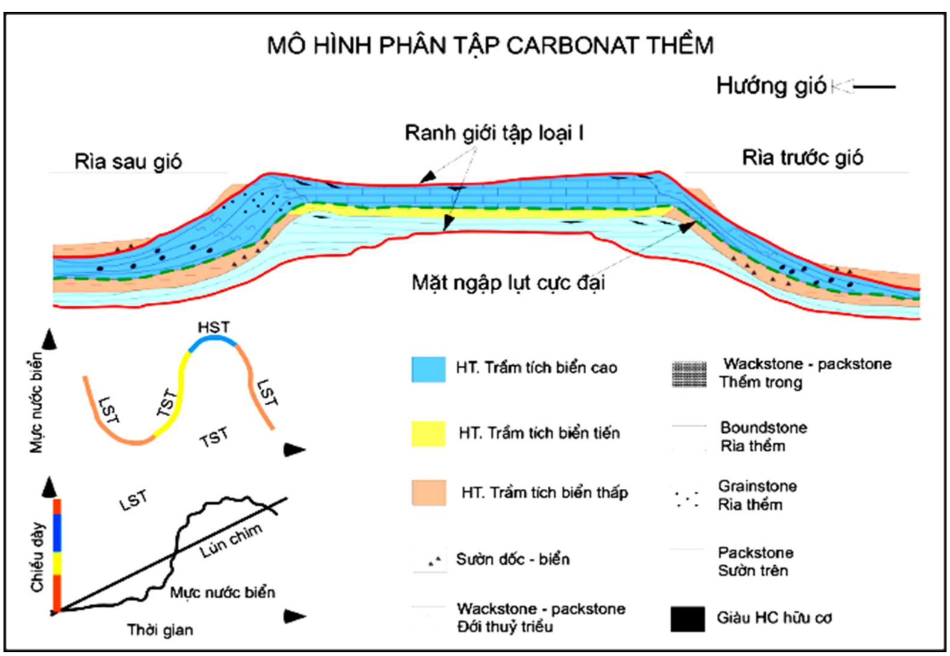
Trong thực tế, giá trị độ thấm của vỉa được tính toán từ các đường cong địa vật lý giếng khoan thông qua hàm quan hệ rỗng–thấm từ số liệu đo mẫu lõi. Do hạn chế về số lượng mẫu lõi từ các giếng khoan thăm dò thẩm lượng, các hàm tương quan rỗng–thấm thường giả định tuyến tính hoặc phi tuyến dẫn tới kết quả chứa đựng nhiều sai số và cần có hệ số hiệu chỉnh rất lớn (hàng chục lần). Để tăng mức độ chính xác khi dự báo độ thấm, nhiều nhà nghiên cứu đã ứng dụng công nghệ tính toán thông minh như mạng nơ ron nhân tạo (ANN) với nhiều kết quả khả quan. Tuy nhiên do ANN sử dụng phương pháp thử–và–sai nên còn chứa đựng nhiều nhược điểm như mô hình không ổn định khi dự báo giá trị trong dải rộng hoặc không thể dự báo các tham số không chắc chắn/không rõ ràng .

Đối với vỉa chứa đá vôi có tính bất đồng nhất cao với cấu trúc lỗ rỗng phức tạp, nhóm tác giả đã nghiên cứu ứng dụng hệ logic mờ trong 2 công đoạn: Phân nhóm các kiểu tướng đá và dự báo giá trị độ thấm trong các giếng khoan không được lấy mẫu lõi. Mô hình logic mờ khắc phục nhược điểm của ANN với khả năng phân nhóm tốt cũng như dự báo được các giá trị không rõ ràng. Kết quả nghiên cứu được trình bày trong bài báo này sẽ góp phần làm sáng tỏ bức tranh về môi trường trầm tích, tướng thạch học và đặc tính thấm chứa của đá vôi chứa khí tại một số mỏ phía Nam bể Sông Hồng [5–7], ngoài khơi Việt Nam.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Mô hình địa tầng phân tập

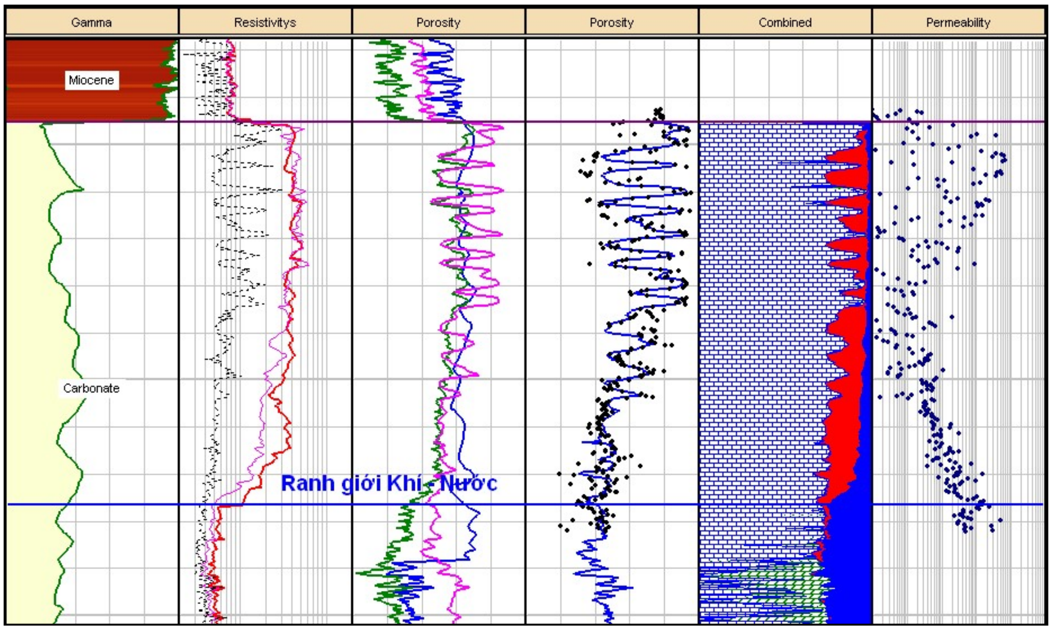
Địa tầng phân tập đã trở thành phương pháp hiệu quả trong nghiên cứu lịch sử phát triển đối với trầm tích đá vôi [8]. Rất nhiều công trình [5–7] đã sử dụng hoặc chấp nhận mô hình địa tầng phân tập đưa ra cho trầm tích hạt vụn (mô hình Exxon) để giải thích sự phát triển của các tập trầm tích loại này. Sự hình thành của tập đá vôi (Hình 1) có sự khác biệt so với trầm tích vụn, được thành tạo tại chỗ ở các khu vực có môi trường biển bởi các quá trình trầm tích hữu cơ và vô cơ [9]. Do có nhiều nguồn gốc và chịu ảnh hưởng của các yếu tố môi trường thành tạo (thay đổi tương đối của mực nước biển), sự biến đổi của đặc tính đá vôi diễn ra mạnh và đa dạng [4]. Mặc dù những nguyên tắc cơ bản của địa tầng phân tập có thể áp dụng với trầm tích đá vôi, nhưng những khác biệt so với trầm tích vụn sẽ dẫn đến mô hình phân tập, vùng hệ thống trầm tích vôi riêng biệt.



Hình 1. Mô hình phân tập của khối đá vôi [2].

2.2. Các phương pháp địa vật lý giếng khoan

Tài liệu địa vật lý giếng khoan cho phép các nhà địa chất minh giải thành phần thạch học và môi trường trầm tích của các lớp đất đá, liên kết chúng với mặt cắt địa chấn. Từ đó, liên kết tướng địa chấn với tính chất đất đá và tướng trầm tích. Tài liệu địa vật lý giếng khoan được sử dụng cho nghiên cứu tầng đá vôi thường bao gồm một loạt các đường cong biến đổi trường địa vật lý theo chiều sâu như: đường cong gamma (GR); điện thế tự nhiên (PS), điện trở (RT), đường cong siêu âm (DT), đường cong mật độ (RHOB). Việc minh giải đường cong địa vật lý giếng khoan cho phép chính xác hóa địa tầng, xác định đặc điểm môi trường trầm tích. Hiện nay, việc nâng cao hiệu quả phân tích mối quan hệ giữa đặc điểm đường cong địa vật lý giếng khoan với thành phần thạch học và các tham số địa vật lý địa chấn khác rất được quan tâm.



Hình 2. Tài liệu địa vật lý giếng khoan trong khoảng vỉa đá vôi, GK–2 [10].

2.3. Các phương pháp thạch học trầm tích

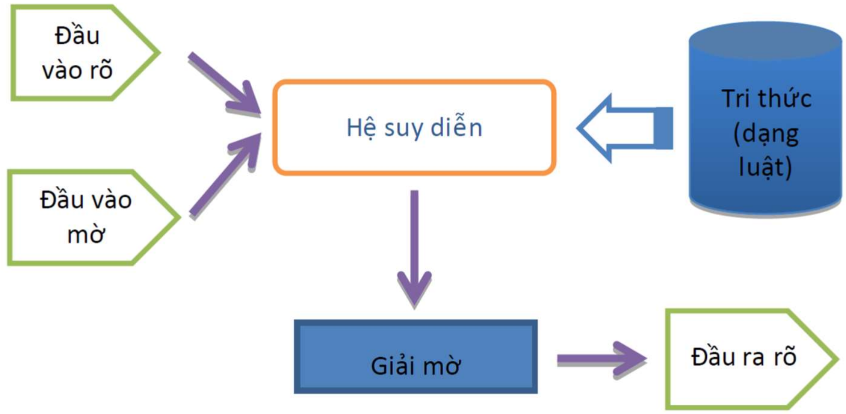
Phương pháp phân tích thạch học lát mỏng được sử dụng trong nghiên cứu này nhằm xác định thành phần, hàm lượng của khoáng vật tạo đá, đặc điểm kiến trúc như: độ chọn lọc, độ mài tròn, kiểu xi măng gắn kết, mức độ biến đổi thứ sinh... Việc xác định đặc điểm thành phần, kiến trúc của đá bằng phương pháp này rất quan trọng, do đây là yếu tố định lượng phản ánh nguồn gốc vật liệu cung cấp, điều kiện động lực của quá trình vận chuyển và lắng đọng trầm tích, có ảnh hưởng đến quá trình biến đổi thứ sinh của đá.

2.4. Phương pháp cổ sinh

Phương pháp cổ sinh được sử dụng để phân tích các bể trầm tích cũng như các tầng đá đá vôi, dùng dải các hóa thạch theo thời gian để liên kết các mặt cắt địa tầng và môi trường cổ nhằm cung cấp các thông tin của địa tầng trầm tích trong tiến trình phát triển địa chất. Đặc biệt, trầm tích vôi với sự phong phú và bảo tồn gần nguyên vẹn các hóa thạch động thực vật, do đó việc luận giải môi trường trầm tích sẽ trở nên tin cậy hơn.

2.5. Phương pháp phân nhóm và dự báo

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã áp dụng lý thuyết Logic mờ (*Fuzzy logic*) [11] để dự báo các đơn vị dòng chảy trên toàn bộ khoảng vỉa tại các giếng khoan. Logic mờ là nền tảng để xây dựng các hệ mờ nhằm giải quyết các vấn đề đặt ra trong thực tế sản xuất. Trong đó, công cụ chủ chốt của Logic mờ là tiền đề hóa và lập luận xấp xỉ với phép suy diễn mờ và giải mờ. Mô hình suy diễn mờ (Hình 3):



Hình 3. Mô hình hệ suy diễn mờ.

Đầu vào là các tập giá trị rõ hoặc mờ của các tính chất, hệ thống bao gồm hệ suy luận và dựa vào tập luật (tri thức). Đầu ra là các giá trị rõ mà đã được suy luận dựa trên các tập luật và phương pháp suy luận.

Như vậy, theo như hệ suy diễn thì kết quả là một tập mờ [12], chính vì vậy mà cần có thành phần giải mờ để làm kết quả ở đầu ra trở thành rõ. Đây là thành phần cuối cùng của mô hình có nhiệm vụ xác định được một phần tử z_0 làm đại diện cho đầu ra.

Một số phương pháp giải mờ thông dụng trong đánh giá vỉa dầu khí (phương pháp phân đôi, phương pháp bình quân hoặc lớn nhất hoặc nhỏ nhất của giá trị lớn nhất, trọng tâm vùng), trong đó phương pháp Trọng tâm vùng (3) được sử dụng nhiều nhất:

Phương pháp phân đôi:

$$z_0 = \int_{z_1}^{z_m} \mu_c(z)dz = \int_{z_m}^{z_n} \mu_c(z)dz \quad (1)$$

Phương pháp bình quân hoặc lớn nhất hoặc nhỏ nhất của giá trị lớn nhất:

$$z_0 = z_{mom}; z_{lom}; z_{som} \quad (2)$$

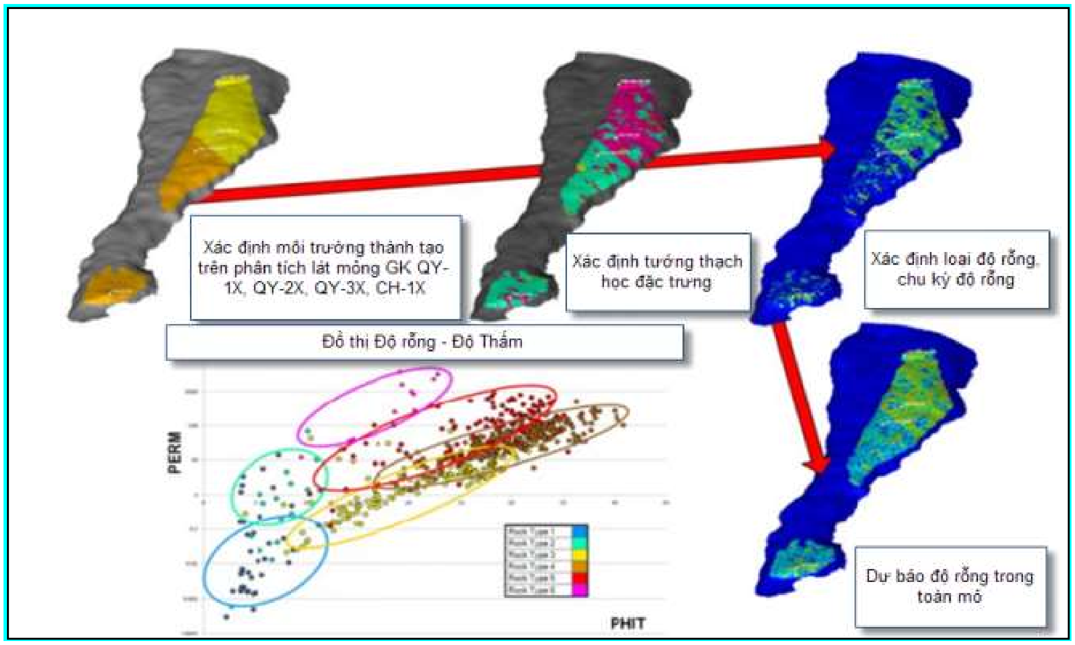
Trọng tâm vùng:

$$z_0 = \frac{\int_Z z * \mu_c(z)dz}{\int_Z \mu_c(z)dz} \quad (3)$$

Trong đó z_0, Giá trị rõ (sau giải mờ); z_{mom}: giá trị bình quân trong tập mờ; z_{lom} giá trị cực đại trong tập mờ; z_{som}: giá trị nhỏ nhất trong tập mờ; z, z_i ($i = 1–n$): phần tử trong tập mờ; μ_c: hàm thuộc (membership function); $\mu_c(z)$ là độ thuộc của z vào tập mờ; Z: Miền xác định của tập mờ.

3. Ứng dụng logic mờ để dự báo tướng thạch học và xác định đơn vị dòng chảy

Trong phần này, nhóm tác giả nghiên cứu đặc điểm thạch học và môi trường trầm tích từ tài liệu mẫu lõi, lát mỏng kết hợp phân tích, minh giải lát cắt địa chất tầng đá vôi theo tài liệu địa vật lý giếng khoan tại giếng khoan thăm dò (GK–1) và các giếng khoan thẩm lượng (GK–2 và GK–3) ở khu vực phía Nam bể Sông Hồng [5–7]. Tổng hợp, so sánh các kết quả mẫu lõi cơ lý đá và phân tích thạch học để xây dựng quan hệ độ rỗng–độ thấm. Trên cơ sở đó, nhóm tác giả đã sử dụng đặc tính của các đường cong địa vật lý giếng khoan để phân nhóm các loại đá chứa (tướng thạch học) và dự đoán khả năng thấm chứa cho toàn khoảng tập đá vôi trong giếng khoan theo quy trình như được mô tả ở Hình 4.



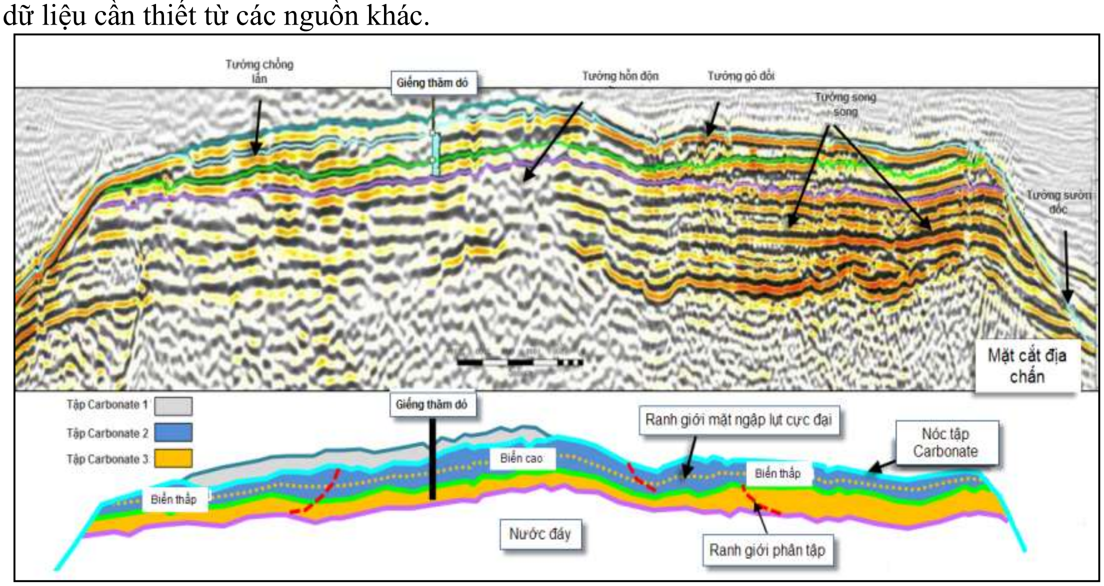
Hình 4. Quy trình dự báo tướng thạch học và tính chất thấm chứa vỉa đá vôi.

3.1. Đặc điểm và môi trường trầm tích carbonate phía Nam bể Sông Hồng

Theo lát cắt địa chấn, phần dưới cùng là tập đá vôi tuổi Langhian được phát hiện tại giếng khoan thẩm lượng C với đặc trưng hóa thạch san hô và trùng lỗ benthic nhỏ được hình thành trong môi trường nội thềm có ảnh hưởng của rìa thềm (Hình 5).

Phần giữa là tập đá vôi có tuổi Serravallian với 2 phân tập: phân tập Serravallian 1 (Serra 1) trầm tích theo chu kỳ trong môi trường sườn mở với đặc trưng tảo đỏ và trùng lỗ benthic lớn, trữ lượng hydrocarbon chủ yếu tập trung trong phân tập này; phân tập Serravallian 2 (Serra 2) phủ lên trên phân tập Serra 1 với đặc trưng là cát kết glauconite và sét kết môi trường biển sâu.

Phần trên cùng là tập đá vôi tuổi Tortonian được nhận biết trên tài liệu địa chấn. Tuy nhiên, thành phần thạch học của tập Tortonian tại giếng khoan thẩm lượng C đã chuyển tiếp sang tướng sét biển sâu. Để nghiên cứu và giải quyết vấn đề này cần thu thập thêm thông tin, dữ liệu cần thiết từ các nguồn khác.



Hình 5. Trích đoạn mặt cắt địa chấn 3D minh họa các dạng tướng địa chấn chính trong trầm tích tuổi Miocene.

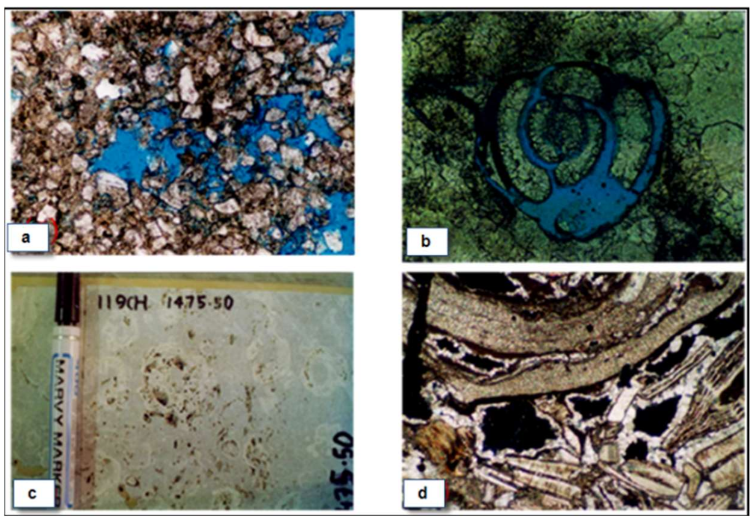
3.2. Xác định thành phần thạch học

Trên cơ sở tổng hợp các kết quả phân tích mẫu cổ sinh, thạch học, địa vật lý giếng khoan, kết quả nghiên cứu chỉ ra thành phần thạch học của carbonate trong khu vực nghiên cứu gồm những sinh vật tạo vôi liên quan tới các đá được xác định:

– San hô, trùng lỗ bám đáy, rhodolite – boundstone;
– Tảo đỏ, skeletal, equinoderm packstone – grainstone;
– Tảo đỏ, mollusk, bryozoa grainstone – packstone;
– Trùng lỗ và ostracode trôi nổi, tảo đỏ grainstone – wackestone.

3.3. Xác định kiểu độ rỗng

Kết quả phân tích mẫu thạch học lát mỏng đã xác định kiến trúc đá vôi dạng hạt như: rudstone, floatstone và grainstone. Tại 2 mẫu nghiên cứu kiến trúc đá packstone chứa tảo đỏ, trùng lỗ bám đáy có độ hạt trung bình phổ biến ở cỡ 0,18–0,71 mm nhưng thay đổi trong khoảng khá rộng 0,062–30 mm. Khi quan sát xác định phân loại độ rỗng của đá vôi, có thể nhận biết được phát triển độ rỗng thứ sinh do rửa lũa khung xương sinh vật (moldic porosity) và độ rỗng giữa hạt (Hình 6). Ngoài ra, các loại độ rỗng thứ sinh khác như nứt nẻ và dolomite hóa khá phổ biến và đóng vai trò rất quan trọng đối với trầm tích đá vôi.



Hình 6. Một số kiểu độ rỗng điển hình: (a) giữa hạt, (b) khuôn đúc, (c, d) hang hốc.

Các kiểu tướng đá được định danh từ 1–6 theo mức độ chất lượng vỉa từ kém đến rất tốt được xác định ranh giới vùng và mức độ hàm liên kết với giá trị độ rỗng mẫu lõi ở mức độ chấp nhận được (Bảng 1). Hệ số liên kết của mẫu lõi 3 giếng nghiên cứu đang ở mức độ từ 0,65 tới 0,87, tức là còn quá nhiều mối quan hệ chưa rõ ràng.

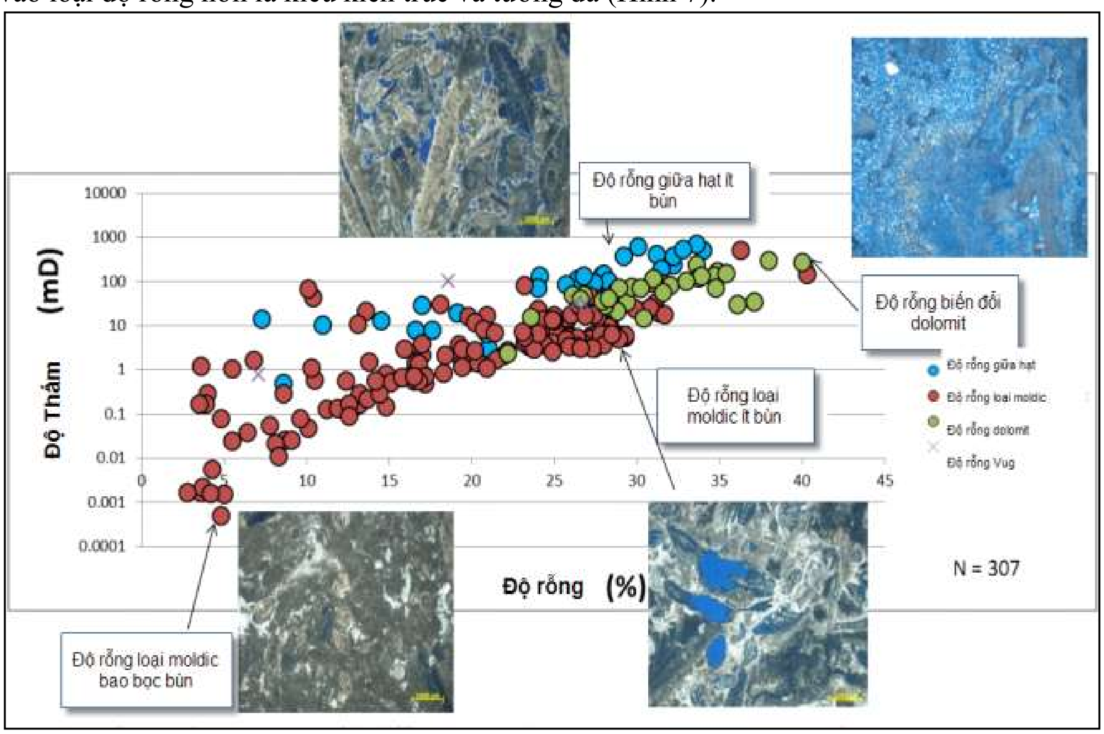
Bảng 1. Tổng hợp các loại tướng đá với đặc trưng quan hệ độ rỗng–độ thấm từ mẫu lõi.

Ký hiệu	Thạch học	Loại độ rỗng	Biến đổi tạo đá	Phân bố	Liên kết
RRT1	Packstone, Mud–lean Packstones	Khuôn đúc cục bộ và giữa hạt	Xi măng hóa & ít rửa lũa	Phần dưới của Serra 1 giếng khoan B	0,70
RRT2	Packstone, Mud–lean Packstones	Khuôn đúc cục bộ & hang hốc	Xi măng hóa & rửa lũa (sớm và muộn)	Dưới bất chỉnh hợp Serra 2 giếng khoan B, C	0,65

Ký hiệu	Thạch học	Loại độ rỗng	Biến đổi tạo đá	Phân bố	Liên kết
RRT3	Mud–lean Packstones, Grainstones	Khuôn đúc & khuôn đúc cục bộ	Xi măng hóa & rửa lũa hạt vụn	Phần trên của Serra 1 giếng khoan B (>30m dưới mặt bất chỉnh hợp carbonate)	0,85
RRT4	Packstone, Mud–lean Packstones, Grainstones	Giữa tinh thể & khuôn đúc	Dolomite hóa & rửa lũa (muộn?)	Trên ranh giới tập Serra 1	0,87
RRT5	Mud–lean Packstones, Grainstones	Giữa hạt,hang hốc, khuôn đúc	Ít xi măng hóa, rửa lũa (muộn)	Trong khoảng 30m dưới mặt bất chỉnh hợp carbonate	0,75
RRT6	Packstone, Mud–lean Packstones, Grainstones	Hang hốc	Rửa lũa không chọn lọc sớm và muộn	Dưới bề mặt bất chỉnh hợp carbonate	0,65

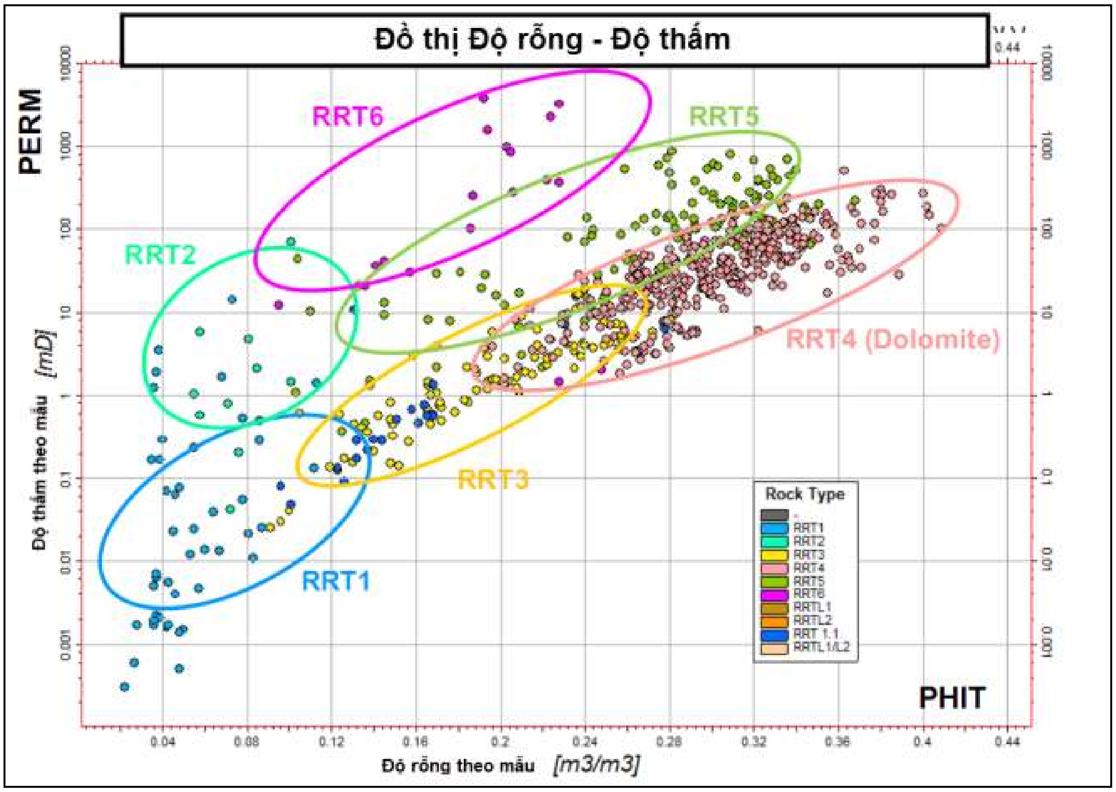
3.4. Xác định đơn vị thủy động lực (HU)

Kết quả phân tích độ thấm trên mẫu lõi các giếng khoan (GK) thẩm lượng GK–2 và GK–3 cho thấy chế độ thủy động lực của đá vôi chứa khí tuổi Miocene giữa phụ thuộc chủ yếu vào loại độ rỗng hơn là kiểu kiến trúc và tướng đá (Hình 7).



Hình 7. Phân nhóm mối tương quan hệ rỗng–thấm theo kiểu độ rỗng từ mẫu lõi GK thẩm lượng GK–2.

Kết quả phân tích toàn bộ các mẫu của các giếng khoan thăm dò thẩm lượng trong khu vực nghiên cứu cho thấy 6 kiểu tướng đá (ký hiệu từ RRT1 tới RRT6) với thành phần thạch học và kiểu độ rỗng đặc trưng. Trên cơ sở này, nhóm tác giả đã xây dựng các hàm quan hệ độ rỗng–độ thấm cũng như xác định các đơn vị dòng chảy (*HU – Hydraulic Flow Unit*) (Hình 8).



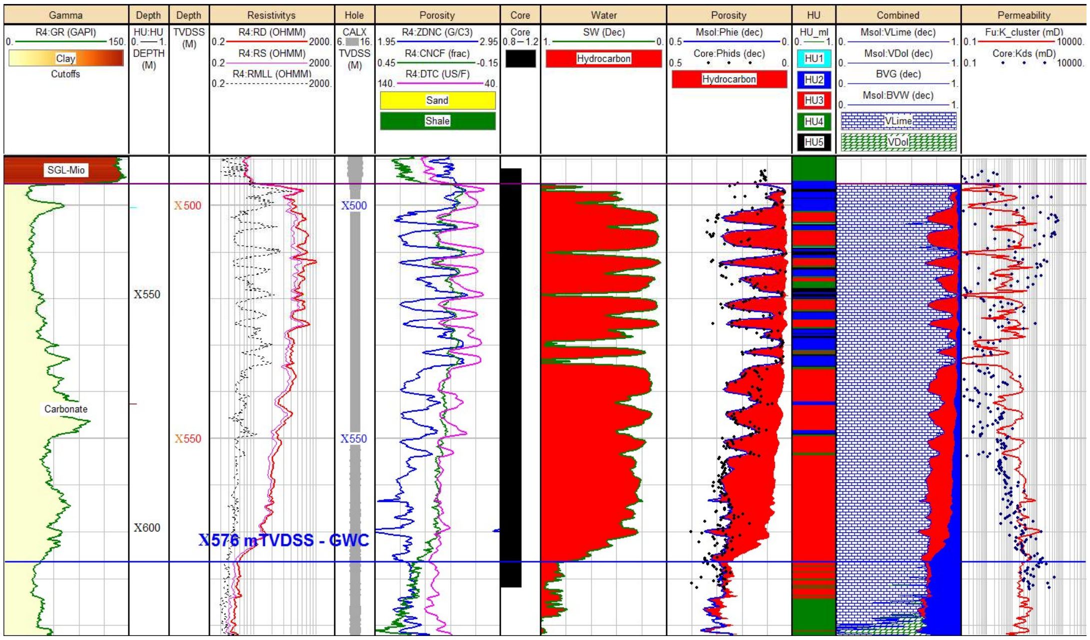
Hình 8. Quan hệ độ rỗng–độ thấm theo tướng đá.

Sau khi tổng hợp và đánh giá trên cơ sở các phân tích/minh giải (Hình 8), cho thấy số liệu độ thấm và độ rỗng từ mẫu lõi sẽ phù hợp và nằm trong giới hạn phân nhóm trong 6 kiểu tướng đá. Tuy nhiên, các giới hạn nhóm không đồng đều về kích thước, hướng, thậm chí chúng còn chờm lẫn lên nhau dẫn đến sai số rất lớn khi dự báo độ thấm của các giếng khoan thăm dò không lấy mẫu lõi. Nhóm 3 và nhóm 4 (tương ứng với RRT3 và RRT4) thể hiện mối liên kết tốt giữa độ rỗng và độ thấm.

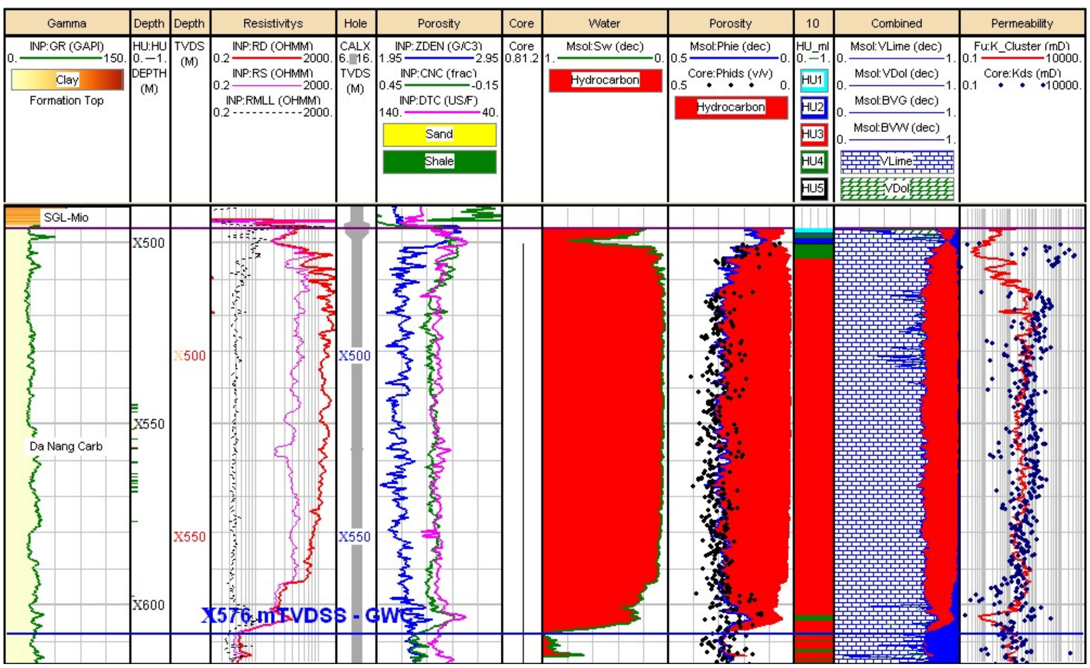
3.5. Kết quả dự báo độ thấm tại các giếng thăm dò, thẩm lượng

Phương pháp dự báo được sử dụng là Logic mờ (Fuzzy Logic) trên cơ sở phần mềm minh giải tài liệu địa vật lý giếng khoan với họ các đường cong: Gamma ray (GR), Điện trở (Resistivities); Mật độ (RHOB), Nơ–tron (NPHI) và sóng âm (DT). Hệ suy diễn được xây dựng từ các phân tích, minh giải trong Bảng 1 và phân cụm thạch học trong Hình 8. Kiểm chứng kết quả dự báo HU cũng như giá trị độ thấm cho thấy rất phù hợp với tài liệu mẫu lõi (Hình 9).

Đặc biệt, khi dùng hoàn toàn tài liệu của mô hình dự báo tại giếng khoan GK–2 để áp dụng cho giếng khoan GK–3, sau đó đem kết quả so sánh với tài liệu phân tích độ thấm từ mẫu lõi giếng khoan GK–3 cho thấy sự phù hợp trên hầu hết tầng chứa (Hình 10). Điều này đã khẳng định tính đúng đắn của phương pháp xác định quan hệ độ rỗng–độ thấm và dự báo độ thấm đã nghiên cứu ứng dụng.



Hình 9. Kiểm chứng kết quả dự báo độ thấm tại giếng khoan thẩm lượng GK–2.



Hình 10. Kết quả kiểm chứng dự báo độ thấm trên giếng khoan thẩm lượng GK–3.

4. Kết luận

Trên cơ sở các nghiên cứu về đặc điểm trầm tích, thạch học và dự báo độ thấm cho vỉa đá vôi phía Nam bể Sông Hồng, bài báo đưa ra các kết luận sau:

Kết quả nghiên cứu địa chất, địa vật lý kết hợp với phân tích lát mỏng đã xác định được các tập trầm tích trong vỉa đá vôi với các đặc trưng về tuổi địa chất và thạch học riêng biệt: Phần dưới cùng là tập đá vôi tuổi Langhian, giữa là tập đá vôi tuổi Serravallian với 2 phân tập: phân tập Serravallian 1 (Serra 1) và phân tập Serravallian 2 (Serra 2); trên cùng là tập đá vôi tuổi Tortonian.

Kết quả phân tích độ thấm trên mẫu lõi giếng khoan thẩm lượng GK–2 và kiểm chứng tại giếng khoan thẩm lượng GK–3 cho thấy quan hệ độ rỗng–độ thấm của đá vôi tuổi Miocene giữa phụ thuộc chủ yếu vào loại độ rỗng hơn là kiểu kiến trúc và tướng đá. Các loại độ rỗng moldic, hang hốc (vuggy), biến đổi dolomite có vai trò quyết định đến dự báo độ thấm của đá chứa.

Trong vỉa đá vôi đã xác định 6 loại tướng đá với kiểu kiến trúc và loại độ rỗng đặc trưng tương ứng với 6 quan hệ độ rỗng–độ thấm. Kiểm chứng kết quả ứng dụng mô hình logic mờ trong xác định đơn vị dòng chảy (HU) và giá trị độ thấm cho thấy sự phù hợp với tài liệu mẫu lõi trên hầu hết khoảng vỉa trong các giếng khoan trong khu vực nghiên cứu. Điều này đã khẳng định tính khả dụng của phương pháplogic mờ trong phân loại tuóng thạch học và dự báo độ thấm tầng đá vôi phía nam bể Sông Hồng.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu, lên kế hoạch: N.H.A.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.H.A., N.V.T.; xử lý, phân tích số liệu: N.H.A., N.V.T.; Viết bản thảo bài báo: N.H.A.; Chỉnh sửa bài báo: N.V.T., N.H.A.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự giúp đỡ của Tổng Công ty Thăm dò Khai thác Dầu khí (PVEP) đã hỗ trợ về phần mềm tính toán, số liệu tham khảo để thực hiện nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

1. Bạt, Đ.; Dỹ, N.Đ.; Quynh, P.H.; Quế, P.H.; Hùng, N.Q.; Hiếu, Đ.V. Địa tầng các bể trầm tích Kainozoi Việt Nam. Địa chất và Tài nguyên Dầu khí Việt Nam. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2007, tr. 141–181.
2. Hiệp, N. Địa chất và Tài nguyên Dầu khí Việt Nam. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2007.
3. An, L.H. Xác định phân tố thủy lực từ tài liệu ĐVLGK sử dụng mạng nơ–ron phục vụ đánh giá tầng chứa dầu khí. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ – Địa chất* **2006,** *14*, 4–8.
4. Schlager, W. Carbonate sedimentology and sequence stratigraphy. *Society for Sedimentary Geology*, U.S.A, **2005**, pp. 198.
5. Diệp, V.N.; Đang, H.N.; Cường, T.M.; Tín, N.T. Quá trình phát triển và thái hóa của đá carbonate tuổi Miocene trên đới nâng Tri Tôn phần Nam bể trầm tích Sông Hồng. *Tạp chí Dầu khí* **2011,** *7*, 19–28.
6. Phong, N.X.; Ngọc, N.; Hoàng, C.M.; An, L.H.; Đang, H.N. Sinh địa tầng trầm tích carbonate hệ tầng Tri Tôn, Nam bể Sông Hồng. *Tạp chí Dầu khí* **2016**, *7*, 40–47.
7. Phong, N.X.; An, L.H., nnk Đặc điểm biến đổi sau trầm tích của đá vôi Miocen giữa Hệ tầng Tri Tôn nam bể Sông Hồng. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ – Địa chất*, **2017**, *58(5)*, 335–347.
8. Tân, M.T. Sự phát triển của phương pháp địa chấn địa tầng trong thăm dò dầu khí. 1999.
9. James, N.P.; Dalrymple, R.W. Facies models 4. *Geol. Assoc. Can.* **2010**, pp. 454.
10. Tân, M.T. Công nghệ địa chấn trong nghiên cứu đặc điểm tầng chứa dầu khí. Tuyển tập Báo cáo Hội nghị Khoa học Kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2007, tr. 391–402.
11. Zadeh, L.A. Fuzzy sets. *Inf. Control* **1965**, *8*, 338–353.
12. Cường, B.C.; Phước, N.D. Hệ mờ mạng Nơron và ứng dụng. NXB KH&KT, **2001**.

Fuzzy logic driven model applied to classify hydraulic flow unit and to predict permeability of carbonate reservoirs in Song–Hong basin

Nguyen Hai An[1*], Nguyen Van Thinh[2]

[1] PetroVietnam Exploration Production Corporation, Vietnam; annh1@pvep.com.vn
[2] Faculty of Oil and Gas, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam; nguyenvanthinh@humg.edu.vn

Abstract: Carbonate reservoirs show challenges to geologists and engineers to predict lithology facies and depositional environment for determining hydraulic characteristics. Due to the different formation and diagenesis processes, carbonate reservoirs have distinct geological characteristics compared to the clastic reservoir. In this study, 03 typical sequences in the carbonate formation in Song Hong basin were investigated basing on 06 main seismic facies. Data of well log, routine and specific core analysis lab have been used with 3D seismic to identify the depositional environment of carbonate rock as platform margin, with 06 rocktypes corresponding with 06 Hydraulic Flow Units. The well logs from 3 exploration wells are used for permeability prediction by employing Fuzzy Logic technique and validating with the traditional method. The results of permeability prediction show consistent agreement with permeability value from core plugs for the entire interval of carbonate reservoir. As a result of the Fuzzy logic application, the paper presents the new workflow to classify hydraulic flow units and then predict permeability of carbonate reservoirs in the un–cored wells.

Keywords: Carbonate; Permeability; Hydraulic Flow Units; Reservoir; Fuzzy Logic.