

# NGHIÊN CỨU ĐẶC TÍNH CƠ LÝ ĐẤT ĐÁ TẦNG OLIGOCENE BỂ CỬU LONG NHẪM TỐI ƯU PHƯƠNG PHÁP KHAI THÁC DẦU ÁP DỤNG KỸ THUẬT NỨT VỈA THỦY LỰC

**ThS. Cao Hữu Bình, ThS. Bùi Thiếu Sơn, TS. Phùng Văn Hải**  
**ThS. Nguyễn Hữu Danh, ThS. Nguyễn Vũ Thiên Tú**  
**ThS. Vũ Thị Xuân Hương, KS. Phan Thanh Lợi**  
Tổng công ty Thăm dò Khai thác Dầu khí (PVEP)  
Email: haipv@pvep.com.vn

**Tóm tắt**

**Bài viết giới thiệu nguyên lý hình thành vỉa chặt sét tầng Oligocene và mối quan hệ giữa địa tầng với các đặc tính cơ lý đất đá trong tập Oligocene E và F, bể Cửu Long. Đồng thời, nhóm tác giả đưa ra phương pháp luận nhằm xây dựng tính chất cơ lý đá nói chung dựa trên tài liệu, kết quả thử vỉa một số giếng khoan áp dụng kỹ thuật nứt vỉa thủy lực được thực hiện từ năm 2012 đến nay.**

**Từ khóa:** Overburden, áp suất lỗ rỗng, hệ số Young's modulus, hệ số Poisson, lực ma sát trong, ứng suất nén một trục, ứng suất ngang lớn nhất, ứng suất ngang nhỏ nhất, nứt vỉa thủy lực.

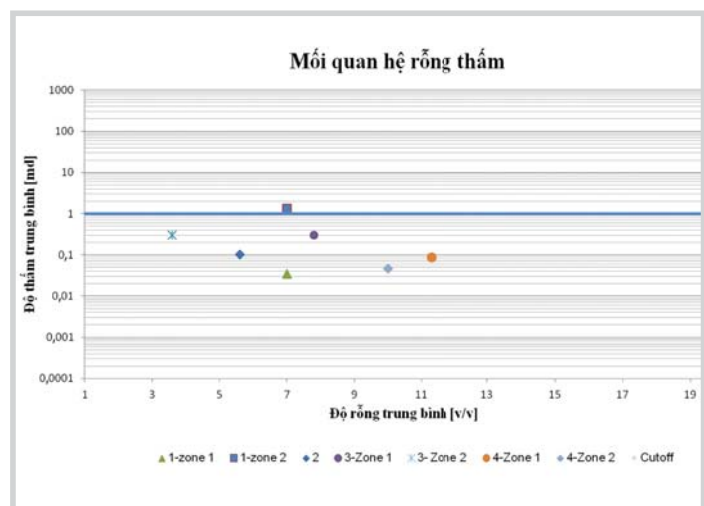
**1. Giới thiệu**

Tầng Oligocene ở bể Cửu Long với đặc thù trầm tích Fluvial - Lacustrine cát sét xen kẹp, phần lớn nằm trên đá móng nứt nẻ trước Đệ Tam. Các giếng khoan qua đối tượng này có biểu hiện dầu khí tốt, tuy nhiên thử vỉa phần lớn không cho dòng tự nhiên. Kết quả phân tích mẫu lõi cho thấy các vỉa sản phẩm có đặc tính chặt sét, độ rỗng khoảng 10% và độ thấm rất nhỏ khoảng vài mD (Hình 1) [1].

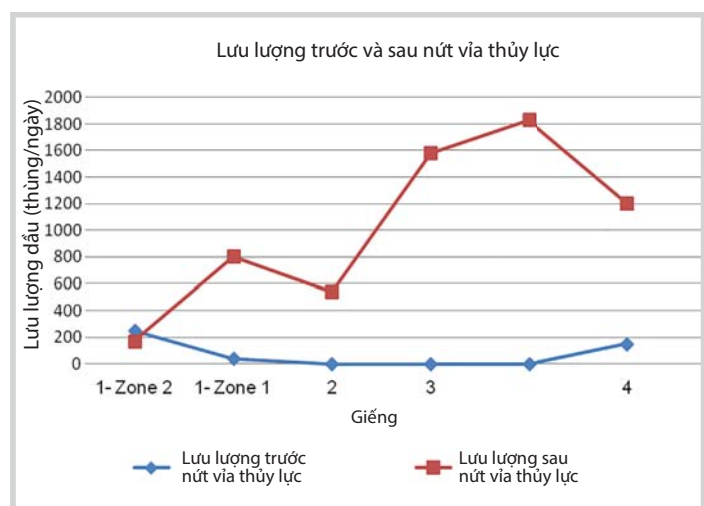
Theo thống kê, trữ lượng dầu khí tại chỗ của đối tượng này xấp xỉ 1 tỷ thùng, trong đó tầng Oligocene E và F chiếm tỷ trọng lớn. Hiện nay, các mỏ dầu đang khai thác suy giảm nhanh, mỏ mới đưa vào khai thác chủ yếu là mỏ nhỏ, cần nghiên cứu các giải pháp duy trì sản lượng khai thác. Trong đó, giải pháp áp dụng công nghệ nứt vỉa thủy lực đã được thử nghiệm ở các giếng thăm dò, thẩm lượng và khai thác ở các mỏ Jade, Kinh Ngư Trắng, Ruby, Hải Sư Đen... mặc dù số lượng giếng áp dụng/thử nghiệm không nhiều nhưng bước đầu được đánh giá khả quan (Hình 2).

Để đánh giá, phân tích chi tiết hơn kết quả các giếng đã áp dụng nhằm loại trừ các rủi ro tiềm ẩn và tiến tới áp dụng công nghệ nứt vỉa thủy lực rộng rãi trong tương lai, cần nghiên cứu và xây dựng tính chất cơ lý đất đá đáng tin cậy của khu vực sẽ áp dụng.

Kết quả của Hình 1 và 2 cho thấy các vỉa độ thấm < 1mD sẽ có hiệu quả cao khi áp dụng công nghệ nứt vỉa thủy lực.



Hình 1. Mối quan hệ độ rỗng - độ thấm tầng Oligocene E các mỏ trong bể Cửu Long

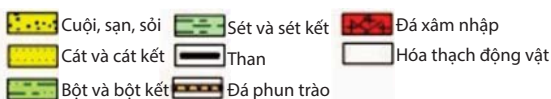


Hình 2. Kết quả nứt vỉa thủy lực tầng Oligocene E, bể Cửu Long

Bảng 1. Kết quả nứt vỉa thủy lực tầng Oligocene E theo độ thấm độ rỗng, bể Cửu Long

Giếng	Tập vỉa	Độ rỗng (%)	Độ thấm trước nứt vỉa thủy lực (mD)	Độ thấm sau nứt vỉa thủy lực (mD)	Lưu lượng trước nứt vỉa thủy lực (thùng/ngày)	Lưu lượng sau nứt vỉa thủy lực (thùng/ngày)
1	E trên zone 2	7	1,331	-	250	170
	E trên zone 1		0,035	0,241	40	800
2	E zone 2	5,6	0,101	0,301	0	540
3	E zone 1	7,8	0,301	1,852	0	1580
	E zone 2	3,6	0,301	1,631	0	1830
4	E zone 1	11,3	0,086	-	150	1200
	E zone 2	10	0,046			

Giới	Hệ	Thống	Phụ thống	Địa điểm	Địa tầng	Bề dày (m)	Đặc điểm thạch học	
Cenozoic	Neogene	Đệ Tứ				200 - 300	Cát bột sét màu xám xanh	
		Miocene	Pliocene	Biển Đông		400 - 700	<u>Phần dưới:</u> cát thạch anh thô, xám trắng chứa nhiều hóa thạch nhóm Operculina <u>Phần trên:</u> sét, bột, phong phú trùng lỗ và Nannoplankton	
					Trên	Đồng Nai	500 - 700	<u>Phần dưới:</u> cát kết xen lẫn sét kết <u>Phần trên:</u> cát hạt nhỏ, bột và sét chứa nhiều hóa thạch
					Giữa	Cồn Sơn	660 - 1000	Cát kết xen kẽ với sét kết, sét chứa vôi, đôi chỗ gặp thấu kính than
					Dưới	Bạch Hổ	400 - 800	<u>Phần dưới:</u> cát kết xen kẽ bột kết và sét kết; <u>Phần trên:</u> sét kết chứa nhiều hóa thạch biển nông Rocalia xen kẽ các lớp bột kết
		Oligocene	Trên	Trà Tân		400 - 800	Sét kết, bột kết, cát kết xen kẽ nhau, nhiều nơi thấy xuất hiện các lớp đá phun trào có thành phần khác nhau	
					Dưới	Trà Cú	100 - 500	Các lớp sét kết tương đối rắn chắc, giàu vật chất hữu cơ xen kẽ với các lớp cát, sỏi kết
					Eocene	Cà Cối	880 - 1000	Cuội, sạn, cát kết cấu tạo dạng khối, phân lớp dày, độ lựa chọn kém, gắn kết yếu
		Mezozoic	J-K					Granite, Granodiorite



Hình 3. Cột địa tầng thạch học bể Cửu Long

## 2. Địa tầng bể Cửu Long và nguyên nhân hình thành vỉa chặt sét ở tầng Oligocene E và F

Theo cơ chế tăng áp suất lỗ rỗng [2] ở tầng Oligocene có thể thấy:

- Trầm tích Oligocene E và F hầu hết nằm trên đá móng tuổi Đệ Tam. Các giếng khoan qua tầng Oligocene E và F bắt gặp các lớp đá magma xâm nhập, từ đó hình thành cơ chế tăng áp suất do tăng nhiệt độ (aquathermal pressurisation). Sự phân rã các nguyên tố phóng xạ của các tinh thể magma làm cho các lỗ rỗng bị giãn nở và bị giới hạn bởi các lớp đất đá không nén ép từ móng (basement) dẫn đến việc tăng áp suất vỉa.

- Trầm tích các tầng Oligocene E và F là các trầm tích sét mất nước được thể hiện rõ với cơ chế phản ứng khử nước (dehydration reaction) [3, 4]. Nói cách khác, có sự chuyển đổi rõ rệt từ sét ngậm nước sang sét mất nước. Điển hình là sự có mặt của kaolinite, illite, chlorite trong thành phần sét giếng mỏ Hải Sư Đen (Bảng 2).

- Ngoài ra, việc xác định áp suất vỉa từ các tài liệu DST, MDT/RCI cho thấy áp suất ở các tầng Oligocene cao hơn rất nhiều so với áp suất thủy tĩnh [5 - 7]. Một cơ chế quan trọng khác làm tăng áp suất lỗ rỗng ở đây là mất cân bằng trầm tích (disequilibrium compaction). Quá trình lắng đọng trầm tích nhanh dẫn đến việc đẩy chất lưu trong lỗ rỗng ra nhanh hơn so với việc mất lỗ rỗng. Áp suất thành hệ thu được từ kết quả MDT/RCI của các giếng mỏ Kinh Ngư Trắng, Hải Sư Đen, Sư Tử Trắng được thể hiện trong Bảng 3.

**Bảng 2.** Thành phần sét cho tầng Oligocene E mỏ Hải Sư Đen

Giếng	Thứ tự	Loại mẫu	Độ sâu (mMD)	Kaolinite (%)	Chlorite (%)	Illite (%)	Smectite (%)	Mixed layer of illite-smectite (%)
2	1	Cutting	xx68,5	43	23,5	20	-	13,5
	2	Cutting	xx75,5	45,5	31,3	15,2	-	8
	3	Cutting	xx03,0	45	30	12,5	-	12,5
	4	Cutting	xx13,5	-	100	-	-	-
	5	Cutting	xx16,0	-	100	-	-	-
	6	Cutting	xx21,0	-	100	-	-	-
	7	Cutting	xx31,0	26	43	31	-	-
	8	Cutting	xx34,0	52,7	47,3	-	-	-
	9	Cutting	xx45,0	-	90,6	9,4	-	-

**Bảng 3.** Áp suất thành hệ các tầng Oligocene E và F ở các mỏ bể Cửu Long

Giếng	Tầng	Khoảng mở vỉa (mTVD)	Khoảng mở vỉa (mMD)	Áp suất thành hệ (psi)
1	Oligocene E dưới	-	xx77 - xx84	-
2	Oligocene E trên zone 2	xx68 - xx92	xx01 - xx25	7.793
	Oligocene E trên zone 1	-	xx74 - xx79	6.854
3	Oligocene E zone 2	xx24 - xx28	-	5.476
4	Oligocene F (zone 4 - 5)	4431 - xx23	xx74 - xx68	8.500
	Oligocene F (zone 4 - 5)	xx96 - xx06	xx42 - xx55	

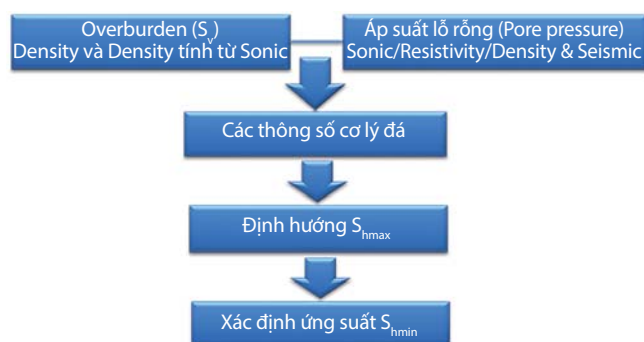
Các giếng khoan gặp những vỉa mới có các biểu hiện trên có thể khẳng định là vỉa chặt sét và cần có kế hoạch áp dụng công nghệ nút vỉa thủy lực trong công tác phát triển mỏ trong tương lai.

**3. Đặc tính cơ lý đá của bể Cửu Long để xây dựng nút vỉa thủy lực**

Việc xác định các thông số cơ lý đá như lực ma sát trong (internal friction), ứng suất nén một trục (UCS), các hệ số Poisson, Young’s modulus, độ bền nứt nẻ (fracture toughness), ứng suất ngang nhỏ nhất ( $S_{hmin}$ ) và hướng ứng suất ngang lớn nhất ( $S_{hmax}$ ) rất quan trọng để xây dựng nút vỉa thủy lực cho các mỏ. Tuy nhiên, việc xác định các thông số trên cần có tài liệu mẫu lõi để so sánh và kiểm tra. Sơ đồ số lượng giếng khoan tối thiểu để tối ưu việc xây dựng nút vỉa thủy lực được thể hiện như Hình 4.



**Hình 4.** Cây sơ đồ số lượng giếng khoan tối thiểu



**Hình 5.** Workflow xây dựng mô hình cơ lý đá bể Cửu Long

Các thông số cơ lý đá đối với các mỏ không có mẫu lõi được xây dựng dựa trên nguyên lý lý tưởng và được kiểm tra lại với các số liệu có được của giếng khoan như dữ liệu log, áp suất... Hướng xây dựng (workflow) và các phương pháp luận để xây dựng các thông số cơ lý đá làm đầu vào cho nút vỉa thủy lực tầng Oligocene E và F bể Cửu Long như sau [8, 9] (workflow chung cho các mỏ tầng Oligocene bể Cửu Long Hình 5).

**3.1. Overburden ( $S_v$ )**

Overburden được tính toán dựa trên đường cong mật độ (bulk density) và cũng có thể tính từ đường cong mật

độ giả định tính từ đường cong Sonic với phương pháp Gardner.

Đường cong mật độ được tính như sau:

Gardner: 
$$\rho = A \left( \frac{10^6}{DT} \right)^B \tag{1}$$

Overburden ( $S_v$ ) được tính theo công thức sau:

$$S_v = g \int_0^{z_0} \rho(z) dz \quad (2)$$

**3.2. Áp suất lỗ rỗng (Pore pressure)**

Áp suất lỗ rỗng được tính dựa trên phương pháp Eaton cho đường cong Sonic và đường điện trở suất. Với số mũ là 1,2 cho điện trở suất và 3,0 cho đường Sonic.

$$P_p = S_v - (S_v - P_{hyd}) \left( \frac{R_{sh_{log}}}{R_{sh_n}} \right)^{1,2} \quad (3)$$

**3.3. Ứng suất nén một trục (Uniaxial compressive strength)**

Phương trình biến đổi Horsrud (2001) cho sét:

$$UCS = 1,35 \times V_p^{2,6} \quad (4)$$

Phương trình biến đổi McNally (1987) cho cát:

$$UCS = A \times e^{(-0,037 \times DTCO)} \quad (5)$$

Trong đó: A từ 100.000 đến 150.000

**3.4. Lực ma sát trong (Internal friction)**

Lực ma sát trong được tính bằng phương trình biến đổi Lal-Vp:

$$IF = \tan(\text{asin}((V_p - 1)/(V_p + 1))) \quad (6)$$

$V_p$  (km/giây)

**3.5. Hệ số Poisson (Poisson's ratio)**

Hệ số Dynamic Poisson's Ratio được tính theo công thức:

$$\nu = (V_p^2 - 2V_s^2)/(2(V_p^2 - V_s^2)) \quad (7)$$

Vì không có các thí nghiệm cơ lý đá nên Static Poisson's ratio được giả định tương đương với Dynamic Poisson's ratio.

**3.6. Young's Modulus**

Hệ số Dynamic Young's modulus được tính theo công thức:

$$E_d = \rho_b V_s^2 (3V_p^2 - 4V_s^2)/(V_p^2 - V_s^2) \quad (8)$$

Static Young được ước tính bằng cách sử dụng một phương trình phát triển bởi Lacy (1996) như sau:

Cho cát:

$$0,0293 \times E_d^2 + 0,4533 \times E_d \quad (9)$$

Cho sét:

$$0,0428 \times E_d^2 + 0,2334 \times E_d \quad (10)$$

Trong đó:

$\rho$ : Mật độ (g/cc);

A: Hệ số (0,23);

B: Hệ số mũ (0,25 - 0,23);

DT: Đường Sonic;

$S_v$ : Overburden;

$R_{hyd}$ : Áp suất thủy tĩnh;

$R_{sh_{log}}$ : Điện trở suất của sét từ log;

$R_{sh_n}$ : Điện trở suất của sét theo độ sâu;

DTCO: Compression Sonic;

$V_p$ : Compression velocity;

$V_s$ : Shear velocity.

**3.7. Định hướng ứng suất ngang lớn nhất ( $S_{hmax}$ )**

Hướng ứng suất ngang lớn nhất được xác định dựa trên các dữ liệu FMI từ đó suy ra hướng nứt nẻ khi thực hiện nứt vỉa thủy lực. Dựa trên tài liệu  $S_{hmax}$  của các mỏ [10, 11] như Bảng 4 và kết hợp với nghiên cứu về hướng  $S_{hmax}$  ở bể Cửu Long [12], thấy được hướng  $S_{hmax}$  chủ đạo của tầng Oligocene E và F là Bắc Tây Bắc - Nam Đông Nam đến Bắc - Nam.

**3.8. Xác định ứng suất ngang nhỏ nhất ( $S_{hmin}$ )**

Việc xác định  $S_{hmin}$  được dựa trên dữ liệu fracture closure pressure (FCP).

$$ESR_{S_{hmin}} = \frac{(S_{hmin} - P_p)}{(S_v - P_p)} \quad (11)$$

Trong đó:

$ESR_{S_{hmin}}$ : Tỷ lệ ứng suất hiệu dụng để tính  $S_{hmin}$ ;

$S_v$ : Overburden;

Bảng 4. Hướng  $S_{hmax}$  chủ đạo tầng Oligocene E bể Cửu Long

Mỏ/Tầng	Nhà điều hành	Hướng $S_{hmax}$
Dương Đông/Oligocene E	JVPC	Bắc Tây Bắc - Nam Đông Nam đến Bắc - Nam
Hải Sư Đen/Oligocene E	Thang Long JOC	Bắc Tây Bắc - Nam Đông Nam đến Bắc - Nam
Kinh Ngư Trắng/Oligocene E	PVEP POC	Bắc Tây Bắc - Nam Đông Nam đến Bắc - Nam

$S_{hmin}$ : Ứng suất ngang nhỏ nhất;

$P_p$ : Áp suất lỗ rỗng.

**3.9. Xác định độ bền nứt nẻ (Fracture toughness)**

Độ bền nứt nẻ được xác định bởi Whittaker (1992):

$$KIC = 0,336 + 0,026E \quad (12)$$

**4. Ứng dụng xác định cơ lý đá cho giếng khoan mỏ Kinh Ngư Trắng**

Overburden được tính toán dựa trên đường cong mật độ tại độ sâu từ ~2.250m TVD đến đáy giếng. Đường cong số mũ được tính toán xấp xỉ bằng mật độ của mud line ~ 1,95g/cc đến độ sâu ~2.250m TVD.

Áp suất lỗ rỗng (Pore pressure) được tính từ đường cong điện trở suất, Sonic và được hiệu chỉnh bằng áp suất lấy từ MDT/RCI và DST.

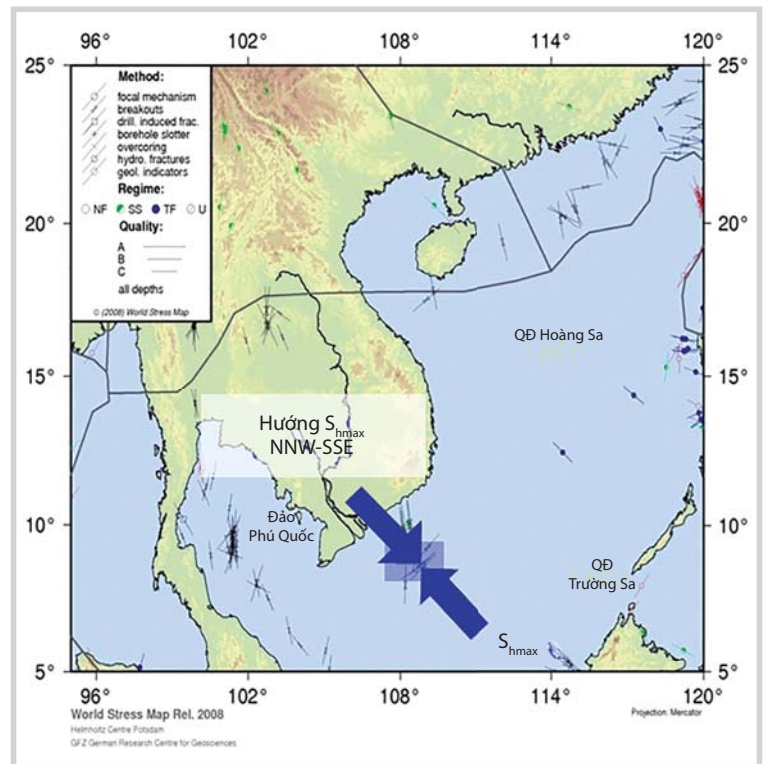
**4.1. Xác định các thông số cơ lý đá**

Xác định ứng suất nén một trục (UCS), lực ma sát trong (internal friction), hệ số tĩnh Poisson và Young's Modulus được tính toán thông qua các tài liệu địa vật lý giếng khoan như Sonic, Compression velocity, Shear velocity. Mặc dù giếng Kinh Ngư Trắng không phân tích cơ lý đá trên mẫu lõi nên kết quả vẫn còn rủi ro. Tuy nhiên, kết quả này đã được so sánh với mỏ có cùng cấu tạo là Dương Đông và kết quả khá phù hợp.

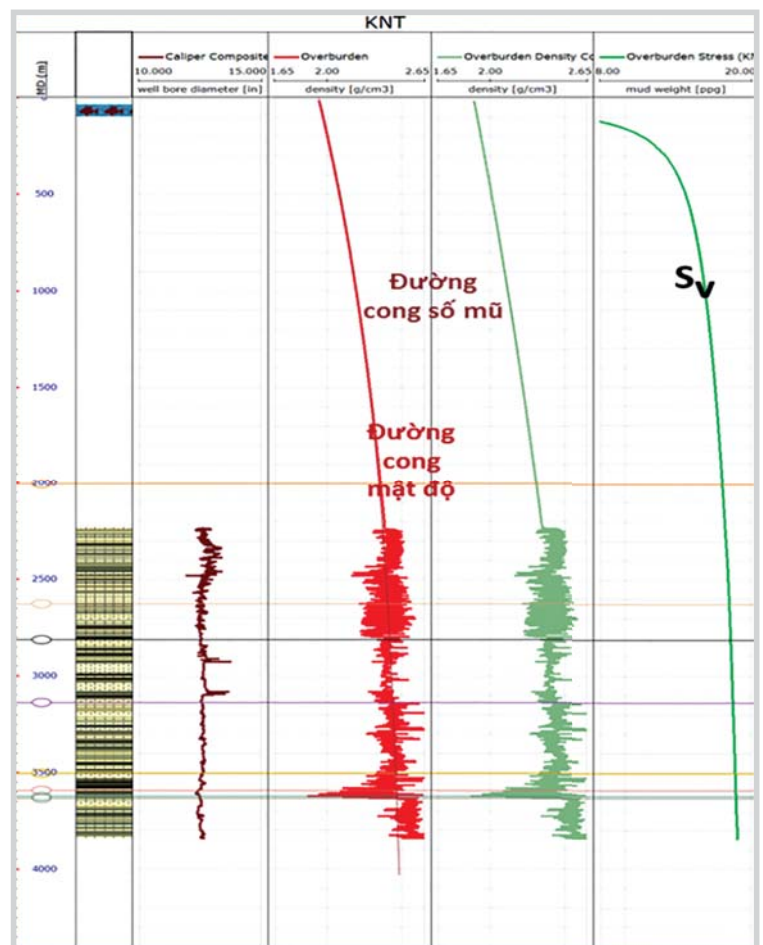
**4.2. Xác định hướng  $S_{hmax}$  dựa trên tài liệu FMI**

Đối với giếng của mỏ Kinh Ngư Trắng, do không đo FMI nên việc xác định hướng  $S_{hmax}$  có thể xây dựng dựa trên hướng  $S_{hmax}$  của tầng móng nứt nẻ Đệ Tam. Kết hợp với thời gian hình thành đứt gãy giữa tầng móng và tầng Oligocene có thể xác định được  $S_{hmax}$  của tầng Oligocene và tầng móng cùng hướng.

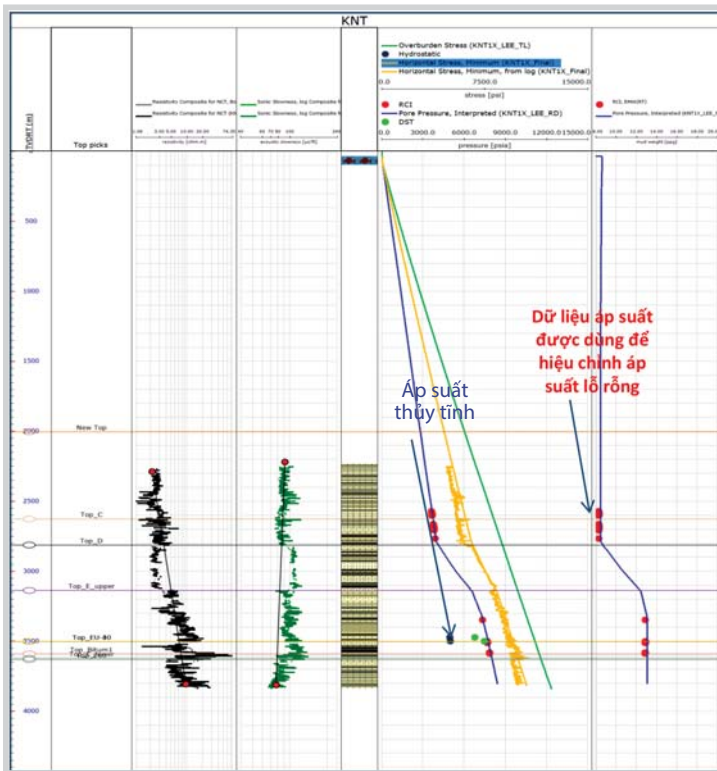
Xác định  $S_{hmin}$  dựa trên dữ liệu áp suất đóng khe nứt - FCP (fracture closure pressure) cho elastic (nguyên lý lý tưởng) và được so sánh lại bằng poroelastic (được xây dựng trên các dữ liệu địa vật lý giếng khoan), xác định độ bền nứt nẻ (fracture toughness) theo hệ số Young's modulus.



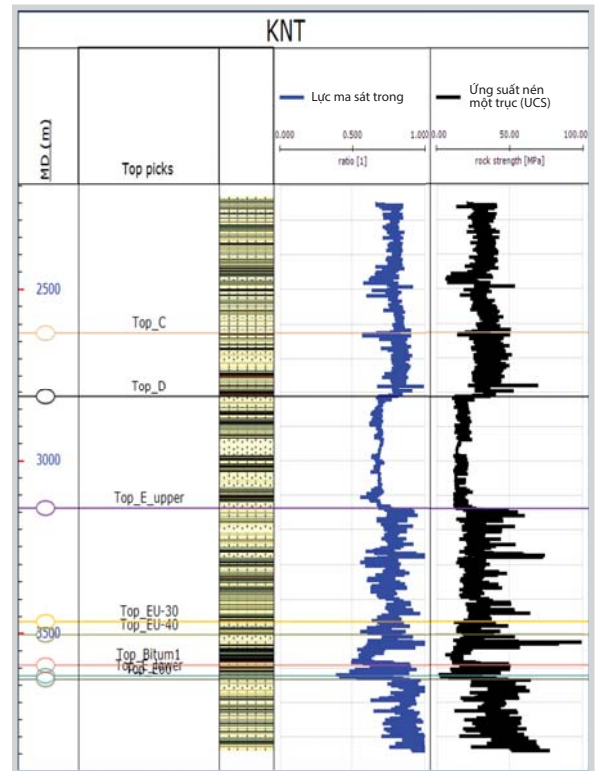
Hình 6. Hướng  $S_{hmax}$  cho tầng Oligocene E bể Cửu Long



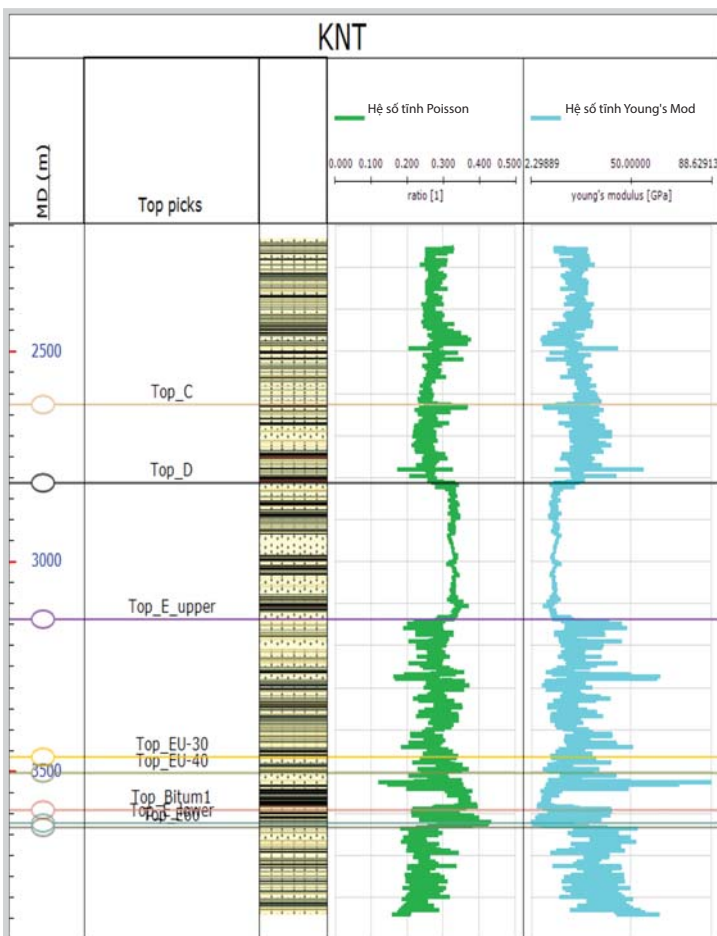
Hình 7. Overburden



Hình 8. Áp suất lỗ rỗng



Hình 9. Lực ma sát trong và ứng suất nén một trục



Hình 10. Hệ số tính Young's modulus và Poisson

### 5. Kết luận và kiến nghị

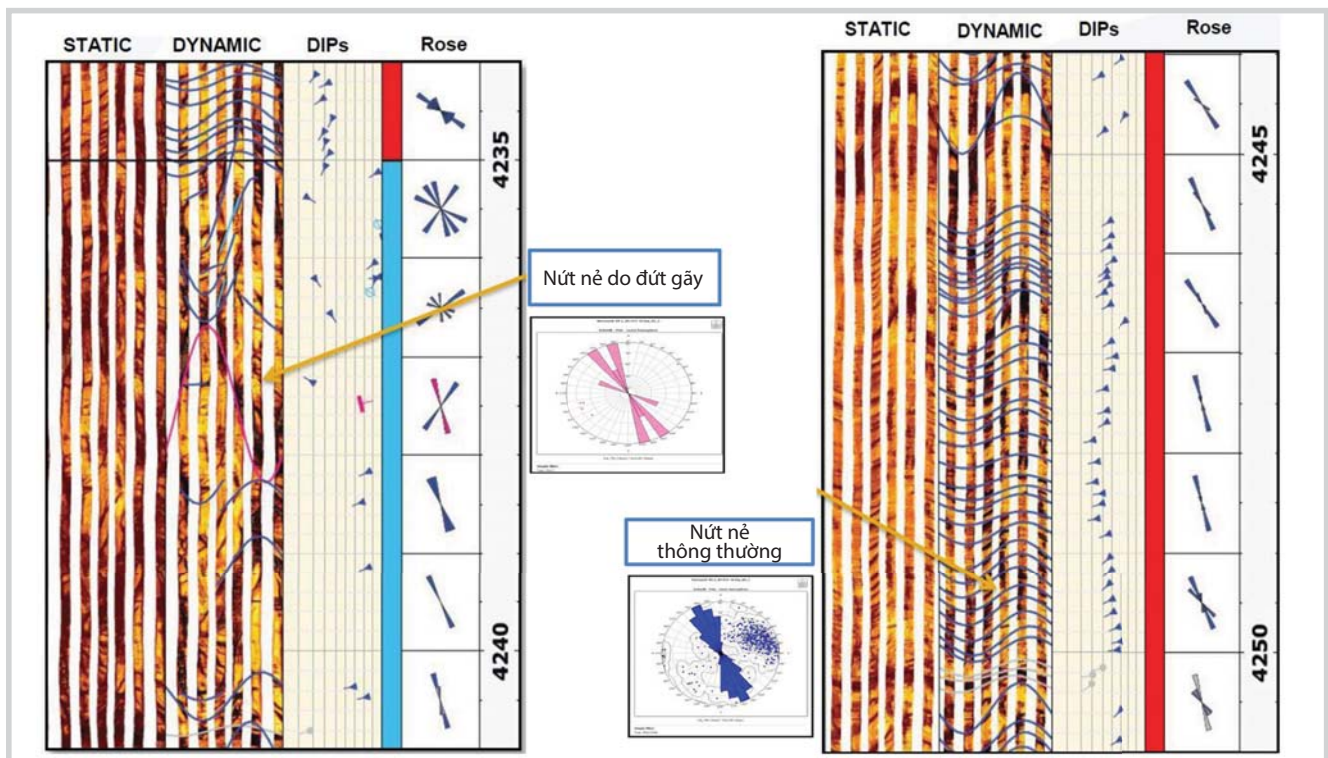
Tiềm năng dầu khí trong tầng Oligocene E và F, bể Cửu Long rất lớn. Để khai thác được các đối tượng này cần áp dụng công nghệ nứt vỉa thủy lực. Để giảm thiểu rủi ro khi áp dụng công nghệ nứt vỉa thủy lực cần có các nghiên cứu tính cơ lý đất đá qua các mẫu lõi để hiệu chỉnh lại các kết quả tính toán bằng tài liệu địa vật lý giếng khoan.

Phần lớn hướng  $S_{hmax}$  tầng Oligocene E bể Cửu Long là Bắc Tây Bắc - Nam Đông Nam đến Bắc - Nam (khảo sát theo các mỏ Hải Sư Đen, Dương Đông, Kinh Ngư Trắng...). Nứt vỉa thủy lực cho tầng Oligocene E đặc biệt có hiệu quả cao với độ thấm 1mD.

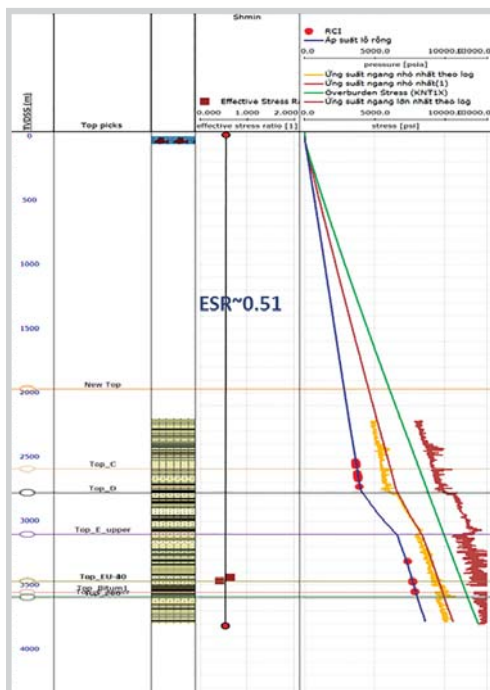
Nhóm tác giả kiến nghị cần có kế hoạch lấy mẫu các mỏ chặt sét và làm các thí nghiệm cơ lý đá để hiệu chỉnh kết quả trong mô hình xây dựng cơ lý đá. Việc lấy áp suất từ leak-off test trong sét và minifrac test trong cát nên được thực hiện tại nhiều độ sâu khác nhau và khuyến khích sử dụng thiết bị wireline cho các giếng.

### Tài liệu tham khảo

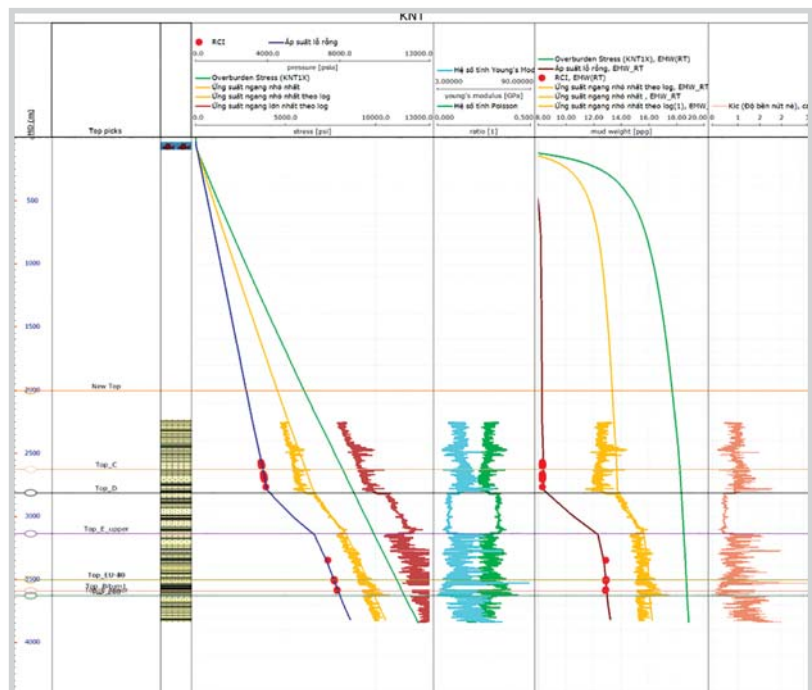
1. Bingjian Li, Nguyen Nhi, Nguyen Quoc Quan, Hoang Dong, Cao Duy, Dave Weichman,



Hình 11. Đường phương nứt nẻ trong đá móng tuổi trước Đệ Tam



Hình 12. Ứng suất ngang nhỏ nhất



Hình 13. Độ bền nứt nẻ theo Young's modulus

Sherif M.Farag, The Phuong. *The natural fracture evaluation in the unconventional tight Oligocene reservoirs - Case studies from Cuu Long basin, Southern offshore Vietnam.* SPE-145909-MS. Society of Petroleum Engineers. 2011.

2. Mark D.Zoback. *Reservoir geomechanics.* Cambridge University Press. 2010.

3. *Jade and Ruby Core analysis report of Petronas.* October 2010 and 2012.

4. *Hai Su Den Core analysis report of Thang Long JOC.* December 2009.

5. *Su Tu Trang MDT test of Cuu Long JOC.* October 2003.

6. Hai Su Den MDT test of Thang Long JOC. October 2009.
7. Kinh Ngu Trang RCI test of PVEP POC. August 2010.
8. Hai Su Den Geomechanical modelling and Hydraulic fracturing report of Thang Long JOC. February 2015.
9. Duong Dong Hydraulic fracturing report. April 2010.
10. Duong Dong FMI interpretation report of JVPC. August 2013.
11. Kinh Ngu Trang FMI interpretation report of PVEP POC. September 2012.
12. Nguyen Thi Thanh Binh, Tomochika Tokunaga, Hoang Phuoc Son, Mai Van Binh. *Present-day stress and pore pressure fields in the Cuu Long and Nam Con Son basins, offshore Vietnam*. Marine and Petroleum Geology. 2007; 24: p. 607 - 615.
13. The Geological Society, London United Kingdom. *The geology of geomechanics*. 28 - 29 October 2015.

## Study of the mechanical properties of Oligocene rocks in Cuu Long basin for optimisation of oil production using hydraulic fracturing

**Cao Huu Binh, Bui Thieu Son, Phung Van Hai, Nguyen Huu Danh  
Nguyen Vu Thien Tu, Vu Thi Xuan Huong Phan Thanh Loi**  
Petrovietnam Exploration Production Corporation  
Email: haipv@pvep.com.vn

### Summary

**The article introduces the principle of Oligocene tight reservoir formation as well as the relationship between the stratigraphy and the mechanical properties of Oligocene sequences E and F in Cuu Long basin. In addition, the authors present the methodology to estimate the geomechanical properties of rocks based on documentation and well test results using hydraulic fracturing technique from 2012 to date.**

**Key words:** Overburden, pore pressure, Young's modulus, Poisson's ratio, internal friction, uniaxial compressive strength,  $S_{hmax}$ ,  $S_{hmin}$ , hydraulic fracturing.