

MÔ HÌNH HOÁ TỔN THẤT ÁP SUẤT TRONG THỦY LỰC KHOAN

Bùi Tử An, Nguyễn Kiên Cường, Đỗ Quang Khánh, Trịnh Hữu Tuấn, Lê Phước Hảo

Khoa Địa chất và Dầu khí, Trường Đại Học Bách Khoa – ĐHQG-HCM

(bài nhận ngày 15 tháng 08 năm 2003)

TÓM TẮT: Mô hình hoá tổn thất áp suất đóng một vai trò rất quan trọng trong tính toán thủy lực khoan. Việc mô hình hóa chính xác có thể làm gia tăng tốc độ khoan, giảm chi phí khoan và ngược lại việc tính toán sai có thể gây nên nhiều sự cố tiềm ẩn như mất dung dịch, hư hỏng giếng.

Bài báo trình bày việc mô hình hoá tổn thất áp suất đối với giếng khoan thẳng đứng và giếng khoan định hướng theo ba cách tính khác nhau là cách tính tại hiện trường, hai cách tính theo phần mềm Hydrmod và Drilling office. Các kết quả (thu được từ ba cách tính khác nhau) được so sánh cho thấy độ tin cậy và khả năng ứng dụng của các phần mềm thương mại trong công nghiệp dầu khí.

1. GIỚI THIỆU

Trong quá trình khoan, dung dịch khoan sẽ được tuần hoàn từ bề mặt đến đáy giếng qua cột cần khoan, chảy qua vòi phun thủy lực ở chوòng và trở về bề mặt trong vành xuyên giữa thân giếng và cột cần khoan. Do vậy, áp suất bơm chính bằng tổng tổn thất áp suất ở các thiết bị trong hệ thống tuần hoàn thủy lực khoan:

$$P_{\text{pump}} = \sum \Delta P_{\text{system}} = \Delta P_{\text{surf}} + \Delta P_{\text{ds}} + \Delta P_{\text{bit}} + \Delta P_{\text{ann}} \quad (1)$$

trong đó:

- P_{pump} = Áp suất bơm (psi)
- ΔP_{surf} = Tổn thất áp suất trong các thiết bị bề mặt (psi)
- ΔP_{ds} = Tổn thất áp suất trong cột cần khoan (psi)
- ΔP_{bit} = Tổn thất áp suất qua chوòng (psi)
- ΔP_{ann} = Tổn thất áp suất trong vành xuyên (psi).

Trên cơ sở đó, mô hình tính toán thủy lực đã được đề xuất để tính chính xác tổn thất thủy lực trong toàn bộ hệ thống. Cách tính tại hiện trường được sử dụng rộng rãi và phổ biến được tóm lược theo một quá trình tính toán tổng quát cho các hệ thống thủy lực khoan. Tuy nhiên, ngày nay hệ thống máy tính được trang bị hầu hết trên các giàn khoan cùng với sự phát triển của công nghệ thông tin, các phần mềm thương mại dầu khí ra đời, đã tích hợp các công cụ tính toán cho phép mô phỏng, tính toán chính xác và thiết kế phù hợp hơn với điều kiện thực tế. Do vậy, cách tính dựa trên hai phần mềm Hydrmod (phiên bản 2.2) và Drilling Office (phiên bản 3.1) sẽ được khảo sát.

2. CƠ SỞ TÍNH TOÁN

2.1. Cách tính tại hiện trường

Cách tính tại hiện trường được dựa trên vận tốc tới hạn của dung dịch khoan để tính toán tổn thất áp suất trên các thiết bị bề mặt, trong cột cần khoan và trong vành xuyên. Tính chất lưu biến của dung dịch khoan được áp dụng một trong hai mô hình: mô hình dẻo Bingham hoặc mô hình hàm lũy thừa Ostwald de Waele.

Quy trình tổng quát tính toán tổn thất áp suất trong hệ thống tuần hoàn như sau:

1. Xác định vận tốc dòng chảy tại điểm đang xét
2. Tính toán vận tốc tới hạn để xác định chế độ dòng chảy (tầng hay rối)
3. Chọn phương trình tính toán tổn thất áp suất thích hợp (dựa trên mô hình lưu biến và chế độ dòng chảy tại điểm đang xét)

Trong thực tế, cần xác định cả hai vận tốc tới hạn (v_c) và vận tốc thực (v) của dòng chảy. Nếu $v_c < v$ dòng chảy là rối, $v_c > v$ là dòng chảy tầng. Nếu cả hai xấp xỉ bằng nhau thì tính toán cho cả hai trường hợp rối và tầng và sử dụng kết quả có tổn thất lớn hơn.

2.1.1. Tổn thất áp suất trong cột cần khoan và vành xuyên

a. Mô hình dẻo Bingham

Trong cần khoan

$$\text{Vận tốc dung dịch: } v = \frac{q}{2,448d^2} \quad (2)$$

$$\text{Vận tốc tới hạn: } v_c = \frac{1,08PV + 1,08\sqrt{(PV)^2 + 12,34d^2(YP)(MW)}}{MW \times d} \quad (3)$$

$$\text{Tổn thất cho dòng chảy tầng: } \Delta P_{ds} = \frac{PV \times L \times v}{1500d^2} + \frac{YP \times L}{225d} \quad (4)$$

$$\text{Tổn thất cho dòng chảy rối: } \Delta P_{ds} = \frac{MW^{0,75} \times v^{1,75} \times PV^{0,25} \times L}{1800d^{1,25}} \quad (5)$$

Trong vành xuyên

$$\text{Vận tốc dung dịch: } v = \frac{q}{2,448(d_2^2 - d_1^2)} \quad (6)$$

$$\text{Vận tốc tới hạn: } v_c = \frac{1}{60} \times \left[\frac{58,200K}{MW} \right]^{\frac{1}{2-n}} \times \left[\left(\frac{1,6}{d} \right) \left(\frac{3n+1}{4n} \right) \right]^{\frac{n}{2-n}} \quad (7)$$

$$\text{Tổn thất áp suất cho dòng chảy tầng: } \Delta P_{ann} = \frac{PV \times L \times v}{1000(d_2 - d_1)^2} + \frac{YP \times L}{200(d_2 - d_1)} \quad (8)$$

$$\text{Tổn thất áp suất cho dòng chảy rối: } \Delta P_{ann} = \frac{MW^{0,75} \times v^{1,75} \times PV^{0,25} \times L}{1396(d_2 - d_1)^{1,25}} \quad (9)$$

b. Mô hình hàm lũy thừa Ostwald de Waele

Trong cần khoan

$$\text{Vận tốc dung dịch: } v = \frac{q}{2,448d^2} \quad (10)$$

$$\text{Vận tốc tới hạn: } v_c = \frac{1}{60} \times \left[\frac{58,200K}{MW} \right]^{\frac{1}{2-n}} \times \left[\left(\frac{1,6}{d} \right) \left(\frac{3n+1}{4n} \right) \right]^{\frac{n}{2-n}} \quad (11)$$

$$\text{Tổn thất áp suất cho dòng chảy tầng: } \Delta P_{ds} = \left[\left(\frac{96v}{d} \right) \left(\frac{3n+1}{4n} \right) \right]^n \times \frac{KL}{300d} \quad (12)$$

$$\text{Tổn thất áp suất cho dòng chảy rối: } \Delta P_{ds} = \frac{(3,6033 \times 10^{-4}) \times MW^{0,8} \times v^{1,8} \times PV^{0,2} \times L}{d^{1,2}} \quad (13)$$

Trong vành xuyên

$$\text{Vận tốc dung dịch: } v = \frac{q}{2,448(d_2^2 - d_1^2)} \quad (14)$$

$$\text{Vận tốc tới hạn: } v_c = \frac{1}{60} \times \left[\frac{38,780K}{MW} \right]^{\frac{1}{2-n}} \times \left[\left(\frac{2,4}{d_2 - d_1} \right) \left(\frac{2n+1}{3n} \right) \right]^{\frac{n}{2-n}} \quad (15)$$

$$\text{Tổn thất áp suất cho dòng chảy tầng: } \Delta P_{ann} = \left[\frac{144v}{(d_2 - d_1) \left(\frac{2n+1}{3n} \right)} \right]^n \times \frac{K \times L}{300(d_2 - d_1)} \quad (16)$$

$$\text{Tổn thất áp suất cho dòng chảy rối: } \Delta P_{\text{ann}} = \frac{(7,7 \times 10^{-5}) \times MW^{0,8} \times q^{1,8} \times PV^{0,2} \times L}{(d_2 - d_1)^3 (d_2 + d_1)^{0,8}} \quad (17)$$

trong đó:

d = đường kính trong của cần khoan, in ; d_1 = đường kính ngoài của cần khoan, in
 d_2 = đường kính ống chống hoặc thân giếng, in; L = chiều dài, ft
 q = lưu lượng dòng chảy, gal/phút; v = vận tốc, ft/s ; v_c = vận tốc tới hạn, ft/s;
 MW = tỷ trọng dung dịch, lbm/gal; K = chỉ số độ sệt; n = chỉ số ứng xử;
 PV = độ nhớt dẻo, cp; YP = giới hạn chảy, lbf/100ft²;

2.1.2. Tổn thất áp suất trên các thiết bị bề mặt

Bốn cách kết hợp phổ biến các thiết bị bề mặt và tổn thất áp suất ở các thiết bị trên bề mặt được sử dụng, tùy từng trường hợp có thể được tính theo kích thước và đường kính cần khoan tương đương ứng với bảng sau.

Bảng 1. Đường kính và chiều dài tương đương của các loại thiết bị bề mặt

TT	Ống đứng		Ống mềm cao áp		Đầu xoay thủy lực		Cần chủ đạo		Tương đương	
	Đường kính trong, in	Chiều dài, ft	Đường kính trong, in	Chiều dài, ft	Đường kính trong, in	Chiều dài, ft	Đường kính trong, in	Chiều dài, ft	Chiều dài, ft	Đường kính, in
1	3	40	2	45	2	4	2 ¼	40	437	2,76
2	3 ½	40	2 ½	55	2 ½	5	3 ¼	40	161	2,76
3	4	45	3	55	2 ½	5	3 ¼	40	479	3,83
4	4	45	3	55	3	6	4	40	340	3.83

2.1.3. Tổn thất áp suất qua chòong

Vận tốc vòi phun: $v_n = \frac{q}{3,117.A_T} \quad (18)$

Tổn thất áp suất qua chòong: $\Delta p_{bit} = \frac{8,311.10^{-5} \times MW \times q^2}{C_d^2 A_T^2} \quad (19)$

Công suất thủy lực tại chòong: $HHP = \frac{\Delta p_{bit} \times q}{1714} \quad (20)$

Lực va đập thủy lực: $IF = 0,01823 \times C_d \times q \sqrt{\Delta p_{bit} \times MW} \quad (21)$

trong đó: A_T là tổng diện tích vòi phun (in²); HHP (hp); IF (lbf); $C_d = 0,95$.

2.2. Cách tính dựa theo phân mềm Hydmod

Tổn thất thủy lực khoan được tính dựa trên số Reynold tới hạn và hệ số ma sát. Đầu tiên, tính số Reynold (tại điểm đang xét) để xác định dòng chảy tầng hay rối. Giải lập tính hệ số ma sát (nếu dòng chảy rối), sau đó áp dụng công thức tính toán tổn thất thủy lực thích hợp (dựa trên mô hình lưu biến và chế độ dòng chảy tại điểm đang xét).

2.3. Cách tính dựa theo phân mềm Drilling Office

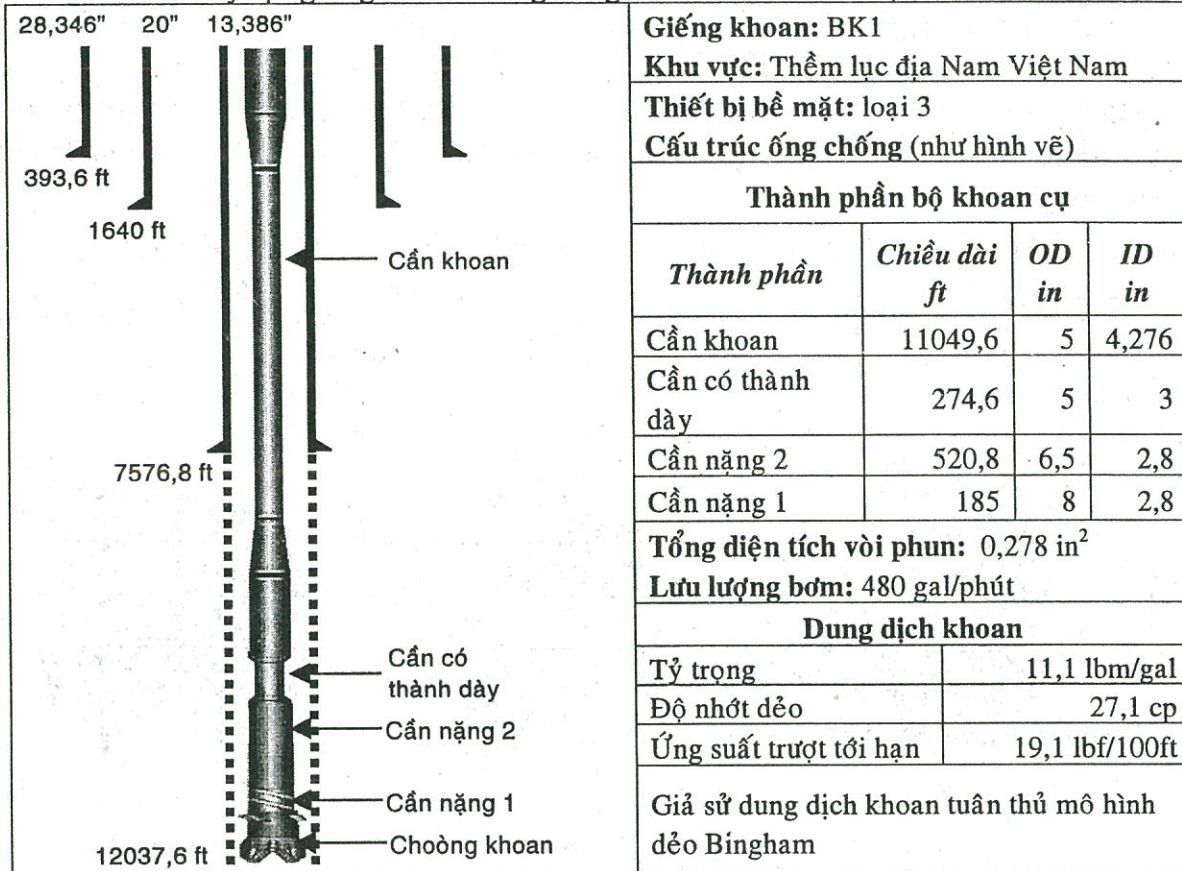
Cách tính dựa trên sự phân tích của Reed & Pilehvari, hiệu chỉnh ảnh hưởng của độ lệch tâm bởi Hacıislamoglu & Cartalos. Mô hình xét đến ảnh hưởng của vùng thủy lực chuyển tiếp giữa chế độ chảy tầng và chảy rối, tính toán đường kính thủy lực và đường kính hiệu dụng của đường ống. Ngoài ra, nó còn xét đến ảnh hưởng tổn thất thủy lực qua đầu nối, độ nhám thành ống, tình trạng (mới hay cũ) của cần khoan hay ống chống...

3. CÁC TRƯỜNG HỢP ỨNG DỤNG

Theo ba cách tính trên, chúng ta tiến hành mô hình hoá tổn thất áp suất trong hệ thống tuần hoàn thủy lực khoan đối với giếng khoan thẳng đứng và giếng khoan định hướng. Để đồng nhất dữ liệu theo ba cách tính khác nhau, trong phần mềm Drilling Office ta không xét ảnh hưởng của tình trạng cần khoan, đầu nối và độ lệch tâm.

3.1. Giếng khoan thẳng đứng

Phân tích thủy lực giếng khoan thẳng đứng BK1 với cơ sở dữ liệu như sau:



Hình 1. Cấu trúc giếng khoan thẳng đứng

* **Kết quả phân tích**

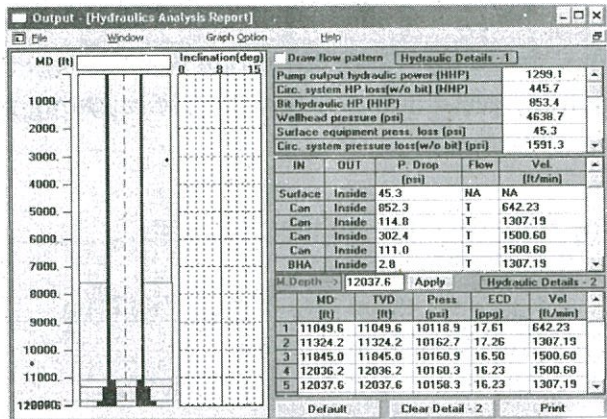
Bảng 2. Phân tích tổn thất áp suất

	Tổn thất áp suất (psi)				
	Tại hiện trường	Hydmod	Sai số, %	Drilling Office	Sai số, %
Thiết bị bề mặt	64,4	45,3	29,7	46,2	28,3
Cột cần khoan	1421,0	1383,3	2,7	1043,6	26,6
Vành xuyên	159,2	162,7	2,2	128,6	19,2
Vòi phun thủy lực	3047,7	3047,4	0,0	3038,6	0,3

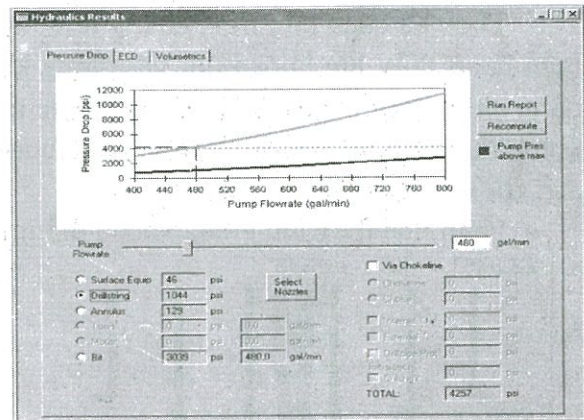
Bảng 3. Vòi phun và công suất thủy lực

	Tại hiện trường	Hydmod	Sai số, %	Drilling Office	Sai số, %
Lực va đập thủy lực (lbf)	1528,9	1528,9	0,0	1526,7	0,1
Vận tốc vòi phun (ft/s)	554,0	553,9	0,0	553,1	0,2
Công suất chòong khoan (HHP)	853,5	853,4	0,0	851,0	0,3
Công suất máy bơm (HHP)	1314,1	1299,1	1,1	1192,1	9,3

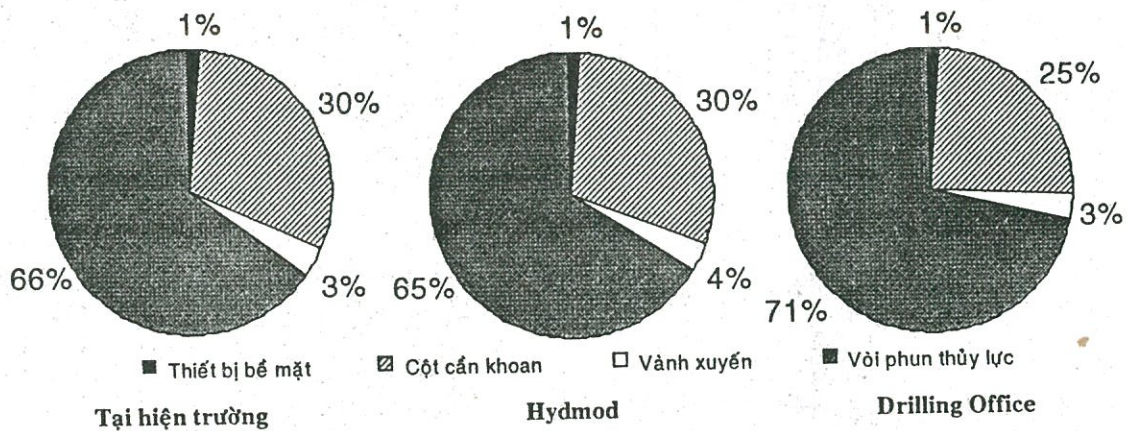
Ghi chú: Sai số được tính so với cách tính tại hiện trường



Hình 2. Kết quả phân tích tổn thất thủy lực theo Hydrmod



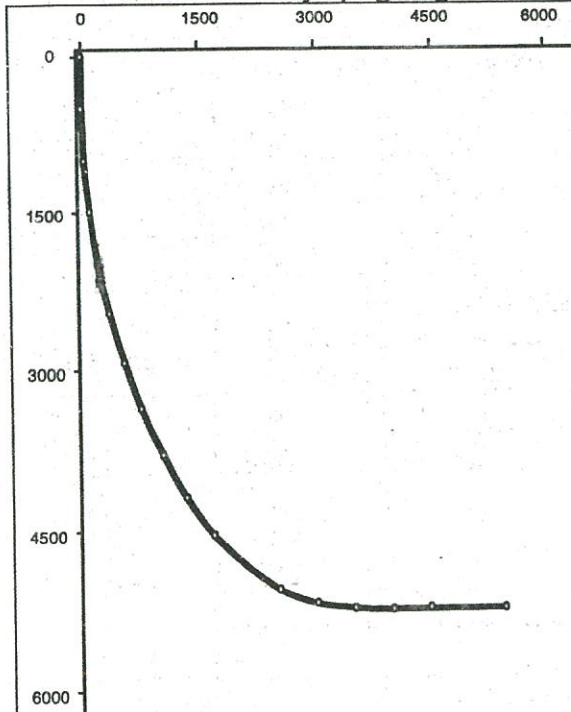
Hình 3. Kết quả phân tích tổn thất thủy lực theo Drilling Office



Hình 4. Tỷ lệ tổn thất áp suất trong hệ thống tuần hoàn tính theo ba cách

3.2. Giếng khoan định hướng

Phân tích thủy lực giếng khoan định hướng có cơ sở dữ liệu như sau:



Hình 5. Quỹ đạo giếng khoan định hướng

Giếng khoan: BK2

Khu vực: Thềm lục địa Nam Việt Nam

Dữ liệu điểm kiểm soát quỹ đạo giếng

Vị trí	Chiều sâu đo được, ft	Góc nghiêng, độ	Góc phương vị, độ
1	0	0	0
2	500	0	0
3	1000	5	0
4	1500	10	2
5	2000	15	12
6	2500	20	12
7	3000	25	12
8	3500	30	12
9	4000	35	12
10	4500	40	12
11	5000	50	12
12	5500	60	12
13	6000	70	12
14	6500	80	12
15	7000	90	12
16	7500	90	12
17	8000	90	12
18	9000	90	12

Cấu trúc thân giếng

Vị trí	Bắt đầu từ, ft	Đường kính trong, in
Ống chống	0	11
	4000	11,2
Tầng sét	4950	12,5
	5000	11,2
Vùng mất dung dịch	5150	11
	5650	11,3
Tầng nước	6400	11
	6600	11,3
Tầng sét	7150	13
	7250	11,3
Tầng chứa dầu	7800	11,3
	8400	11,3
	8500	11,35
Đáy giếng	8900	11,35
	9000	

Thành phần bộ khoan cụ

Thành phần	Chiều dài ft	OD in	ID in
Cần khoan	8399,9	5	3,826
Cần nặng	500	7,5	2,75
Bộ BHA	100,1	4	3

Tổng diện tích vòi phun: 0,409in²

Lưu lượng bơm: 420 gal/phút

Thiết bị bề mặt: loại 1

Dung dịch khoan

Tỷ trọng: 11,1 lbm/gal

Độ nhớt dẻo: 27,1 cp

Ứng suất trượt tối hạn: 19,1 lb/100ft

Giả sử dung dịch khoan tuân thủ mô hình dẻo Bingham

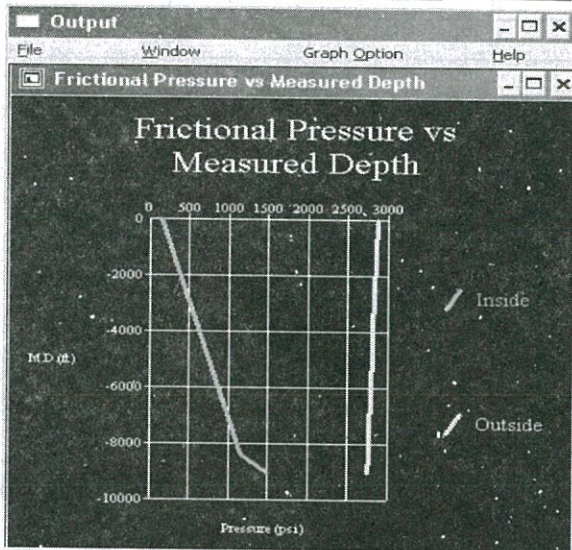
* **Kết quả phân tích**

Bảng 4. Phân tích tổn thất áp suất

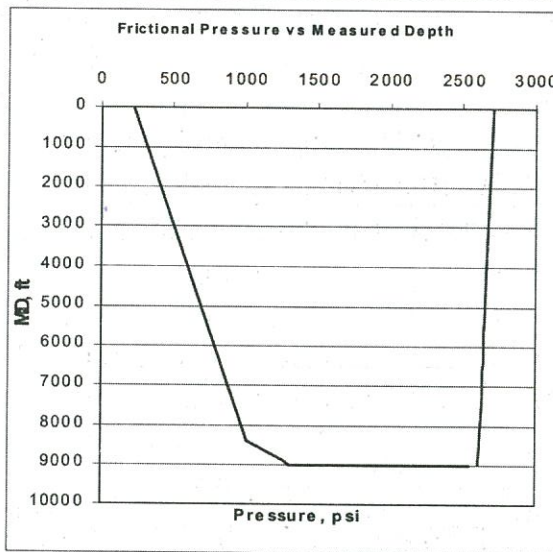
Tổn thất áp suất (psi)					
	Tại hiện trường	Hydmod	Sai số, %	Drilling Office	Sai số, %
Thiết bị bề mặt	254,6	152,9	39,9	218,4	14,2
Cột cần khoan	1333,9	1347,9	1,0	1082,9	18,8
Vành xuyên	104,9	105,1	0,2	93,0	11,3
Vòi phun thủy lực	1262,4	1256,3	0,5	1258,7	0,3

Bảng 5. Vòi phun và công suất thủy lực

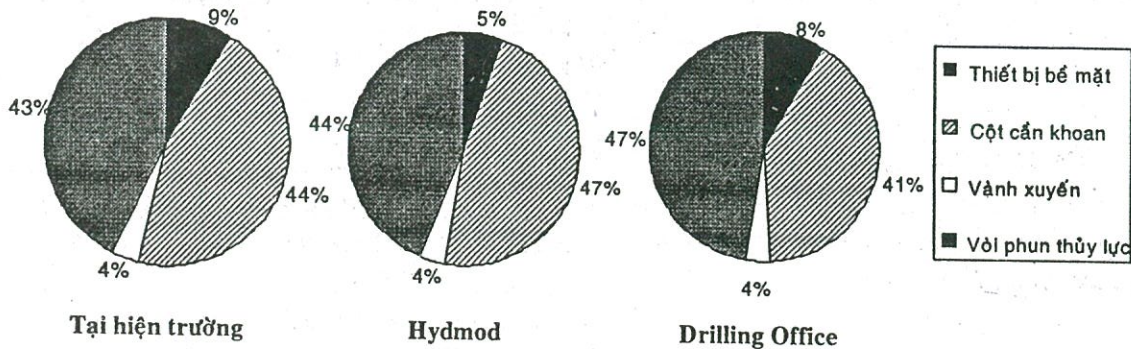
	Tại hiện trường	Hydmod	Sai số, %	Drilling Office	Sai số, %
Lực va đập thủy lực (lbf)	931,8	929,6	0,2	930,5	0,1
Vận tốc vòi phun (ft/s)	329,5	328,6	0,3	329,0	0,2
Công suất chèoing khoan (HHP)	309,3	307,8	0,5	308,4	0,3
Công suất máy bơm (HHP)	724,3	701,3	3,2	650,1	10,2



Hình 3. Tổn thất áp suất theo chiều sâu giếng khoan theo Hydmod



Hình 7. Tổn thất áp suất theo chiều sâu giếng khoan theo Drilling Office



Hình 8. Tỷ lệ tổn thất áp suất trong hệ thống tuần hoàn tính theo ba cách

Từ các kết quả phân tích theo ba cách tính khác nhau đối với cả giếng khoan thẳng đứng và giếng khoan định hướng ta thấy:

- Tổn thất áp suất tập trung chủ yếu ở vòi phun và trong cột cần khoan, còn tổn thất áp suất trong vành xuyên chiếm một tỷ lệ nhỏ (< 10%).

- Các tính toán tổn thất thủy lực tại vòi phun của choòng theo cả ba cách tính có kết quả rất giống nhau.

- Tổn thất áp suất trong cột cần khoan và vành xuyên (theo Drilling Office) có sự khác biệt so với hai cách tính khác, có lẽ do phần mềm này có xét đến ảnh hưởng của vùng chuyển tiếp giữa chảy tầng và chảy rối.

- Tổn thất áp suất trong các thiết bị bề mặt theo ba cách tính có sự chênh lệch, trong đó cách tính tại hiện trường có lẽ là quá an toàn.

3. KẾT LUẬN

Quá trình mô hình hóa tổn thất áp suất một cách chi tiết và chính xác phụ thuộc vào cơ sở dữ liệu đầu vào, chế độ làm việc của hệ thống và quá trình tính toán.

Các kết quả của cách tính tại hiện trường có lẽ khá an toàn nhưng quá trình tính toán này lại đơn giản và thích hợp với điều kiện làm việc trực tiếp tại hiện trường nên được dùng làm cơ sở đối chiếu với các cách tính khác.

Ngày nay, cùng với sự phát triển của máy tính việc ứng dụng các phần mềm dầu khí như Hydmod, Drilling Office trong việc phân tích thủy lực khoan càng có một ý nghĩa to lớn. Do các cách tính toán theo các phần mềm thương mại dầu khí ngày càng chi tiết và chính xác hơn nên các kết quả mô hình hoá tổn thất áp suất nhỏ hơn. Đặc biệt là phần mềm Drilling Office (phiên bản 3.1) với khả năng mô hình hóa một cách chi tiết và mạnh mẽ cho kết quả khá hợp lý và xét đến nhiều ảnh hưởng phù hợp với thực tế.

Lời cảm ơn

Các tác giả xin chân thành cảm ơn sự giúp đỡ của công ty dầu khí dịch vụ kỹ thuật Schlumberger trong việc thực hiện nghiên cứu này.

PRESSURE DROP MODELING IN DRILLING HYDRAULICS

Bui Tu An, Nguyen Kien Cuong, Do Quang Khanh, Trinh Huu Tuan, Le Phuoc Hao
Faculty of Geology and Petroleum, University of Technology – VNU-HCM

ABSTRACT: *In drilling hydraulic calculations, the pressure drop modelling plays an important role. The exact modelling can increase the rate of penetration and reduce the drilling costs, and conversely, miscalculations may cause potentially problems such as fluid loss, well damage.*

This paper presents the modelling of pressure drop for the vertical drilling well and the directional drilling well in three different procedures. There are the in-field procedure and two procedures from the petroleum software's Hydmod and Drilling Office. These obtained results are compared and analysed to show the confidence and potential of these commercial software applied in petroleum industry.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Adams, Neal and Ogle, Kenneth C. *Drilling Problems and Drilling Optimization*. Boston, IHRDC, 1996.
- [2] Bourgoyne, A. T. et al. *Applied Drilling Engineering*, SPE Textbook Series, Vol. 2, Richardson, Society of Petroleum Engineers, 1986.
- [3] Đỗ Quang Khánh, Lê Phước Hảo. *Bài giảng thủy lực khoan*. Bộ môn công nghệ khoan và khai thác, Trường đại học Bách khoa Tp. Hồ Chí Minh, 1997-2003.
- [4] Hacıslamoglu, M. and U. Cartalos: "Practical Pressure Loss Predictions in Realistic Annular Geometries" paper SPE 28034, 1994.
- [5] Schlumberger. *Pressure Drop Modeling*, PowerPlan Technical Manual, 2002.