



# Lựa chọn mô hình lưu biến phù hợp cho dung dịch khoan gốc nước có sử dụng vật liệu thân thiện môi trường

Đình Phước Hậu<sup>1,2</sup>, Lê Tấn Phát<sup>1,2</sup>, Trần Hữu Phước<sup>1,2</sup>, Lý Trung Hiếu<sup>1,2</sup>, Trần Trung Dũng<sup>1,2</sup>, Hoàng Trọng Quang<sup>1,2</sup>, Trần Nguyễn Thiện Tâm<sup>1,2</sup>, Lê Nguyễn Hải Nam<sup>1,2,\*</sup>



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

## TÓM TẮT

Dung dịch khoan là một phần quan trọng trong công tác khoan dầu khí. Hiện nay, nhằm phục vụ mục tiêu phát triển bền vững và bảo vệ môi trường, các vật liệu có nguồn gốc hữu cơ được sử dụng như là chất phụ gia cho dung dịch khoan. Vật liệu từ vỏ cam đã được sử dụng trong các nghiên cứu gần đây và được đánh giá cao về hiệu quả trong khả năng tăng cường chất lượng dung dịch khoan gốc nước. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã khảo sát các mô hình toán học để mô tả tính chất lưu biến của dung dịch khoan gốc nước có sử dụng vật liệu vỏ cam ở các tỷ lệ khác nhau. Việc lựa chọn mô hình lưu biến phù hợp giúp việc xác định tổn thất áp suất và tính toán thủy lực chính xác hơn. Ba mô hình lưu biến được khảo sát là: mô hình Bingham Plastic, Power Law và Herschel-Buckley. Để đánh giá mức độ chính xác của các mô hình so với số liệu đo thực tế tại phòng thí nghiệm, các thông số thống kê bao gồm: Sai số phần trăm trung bình tuyệt đối (MAPE), sai số bình phương trung bình (MSE) và hệ số tương quan ( $R^2$ ) được sử dụng. Kết quả chỉ ra rằng tính chất lưu biến của dung dịch khoan có sử dụng vật liệu vỏ cam có thể được thể hiện bằng mô hình Herschel-Buckley với  $R^2$  cao nhất, MAPE và MSE thấp nhất khi so sánh với mô hình Power Law và Bingham Plastic ở tất cả các tỷ lệ của vật liệu vỏ cam.

**Từ khóa:** Mô hình lưu biến, Vật liệu thân thiện môi trường, Bột vỏ cam, Dung dịch khoan gốc nước

<sup>1</sup>Bộ môn Khoan- Khai thác dầu khí, Khoa KT Địa chất & Dầu khí, Trường Đại học Bách khoa TP. HCM

<sup>2</sup>Đại học quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

## Liên hệ

**Lê Nguyễn Hải Nam**, Bộ môn Khoan- Khai thác dầu khí, Khoa KT Địa chất & Dầu khí, Trường Đại học Bách khoa TP. HCM

Đại học quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

Email: lnhnam@hcmut.edu.vn

## Lịch sử

- Ngày nhận: 30-9-2023
- Ngày chấp nhận: 15-1-2024
- Ngày đăng:

## DOI:



## Bản quyền

© ĐHQG TP.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



## 1 MỞ ĐẦU

2 Một trong những hoạt động tiên quyết cho bất kỳ một  
3 dự án dầu khí chính là công tác khoan, vì vậy chi phí  
4 cho hoạt động này thường khá cao (50-80% trên tổng  
5 chi phí ở giai đoạn tìm kiếm thăm dò) và từ 30 đến  
6 80% trên tổng chi phí phát triển mỏ<sup>1</sup> bởi mức độ  
7 phức tạp và những rủi ro liên quan. Trong đó, dung  
8 dịch khoan được xem như “huyết mạch” của công tác  
9 khoan, là một trong những nhân tố chủ chốt quyết  
10 định sự thành bại của một dự án khoan cũng như  
11 chiếm phần lớn chi phí trong quá trình khoan<sup>2</sup>.  
12 Dựa trên các đặc điểm địa chất cũng như điều kiện  
13 thiết bị, Việt Nam chủ yếu sử dụng 2 hệ dung dịch  
14 khoan là hệ gốc dầu và gốc nước<sup>3</sup>. Tuy dung dịch  
15 khoan gốc dầu có nhiều đặc tính tối ưu hơn hệ gốc  
16 nước như ổn định ở nhiệt độ cao, khả năng vận  
17 chuyển mùn khoan tốt hơn nhưng giá thành đắt và tác  
18 động tiêu cực đến môi trường vì có chứa dầu diesel và  
19 một số hoá phẩm khác<sup>4</sup>, nên ứng dụng bị hạn chế.  
20 Vì vậy, hệ dung dịch khoan gốc nước là đối tượng  
21 tiềm năng được sử dụng cho giai đoạn khoan thăm  
22 dò, thăm lượng cũng như khai thác dầu khí. Hiện  
23 nay, không riêng ở Việt Nam mà trên thế giới đã và  
24 đang tập trung nghiên cứu phát triển các loại dung

dịch khoan gốc nước đáp ứng tốt về các yêu cầu kĩ  
thuật đồng thời thân thiện môi trường<sup>5</sup>.

Với xu thế phát triển bền vững trong tương lai, Việt  
Nam đã và đang hướng tới mục tiêu phát triển đất  
nước gắn liền chính sách bảo vệ môi trường trên hầu  
hết các lĩnh vực, trong đó có ngành công nghiệp dầu  
khí. Trước đây, nước ta đã nghiên cứu và phát triển  
thành công dung dịch khoan gốc nước KLATROL,  
với thành phần KCl nhằm tăng cường tính ức chế  
sự trương nở của sét, barite làm tăng tỉ trọng dung  
dịch khoan và một số chất phụ gia khác<sup>6</sup>. Tuy nhiên,  
quá trình sử dụng các hoá phẩm phụ gia công nghiệp  
truyền thống như KCl, NaOH, Polyamine,...<sup>7</sup> đang  
gặp phải những hạn chế về yếu tố môi trường, vì thế  
việc tìm kiếm và tạo ra loại vật liệu góp phần kiểm soát  
các tính chất của dung dịch khoan đồng thời đảm bảo  
an toàn môi trường đang là xu thế cấp thiết hiện nay.  
Một trong số vật liệu nổi bật chính là các loại chất thải  
có nguồn gốc hữu cơ, với nguồn có sẵn và tiện dụng  
trong việc pha chế<sup>2</sup>.

Ngày nay, đã và đang có nhiều nghiên cứu trên thế  
giới tổng hợp các loại rác thải hữu cơ như vỏ bưởi,  
vỏ chuối, vỏ quýt, đậu bắp,... làm chất phụ gia cho hệ  
dung dịch khoan gốc nước được trình trong Bảng 1.

**Trích dẫn bài báo này:** Hậu D P, Phát L T, Phước T H, Hiếu L T, Dũng T T, Quang H T, Tâm T N T, Nam L N H. **Lựa chọn mô hình lưu biến phù hợp cho dung dịch khoan gốc nước có sử dụng vật liệu thân thiện môi trường**. *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.* 2024; ():1-10.

49 Bên cạnh đó, Việt Nam cũng đã có những nghiên cứu  
 50 ứng dụng chất thải hữu cơ trong lĩnh vực kỹ thuật liên  
 51 quan đến môi trường (Bảng 2) song còn hạn chế. Do  
 52 đó, ý tưởng phát triển hệ dung dịch khoan ứng dụng  
 53 vật liệu sinh khối hữu cơ làm phụ gia là hướng đi có  
 54 tính mới mẻ đối với nghiên cứu khoa học Việt Nam  
 55 nói chung cũng như ngành công nghiệp dầu khí nói  
 56 riêng, vừa tận dụng được nguồn nông sản dồi dào của  
 57 nước ta đồng thời đáp ứng mục tiêu môi trường bền  
 58 vững trong tương lai.

59 Vỏ quả cam được lựa chọn sử dụng trong nghiên cứu  
 60 này bởi vì theo những dữ liệu được cung cấp từ Tổng  
 61 cục Thống kê Việt Nam, sản lượng cam năm 2021 là  
 62 1.55 triệu tấn, tăng 33.2% so với năm 2020 và đứng  
 63 thứ hai nước ta<sup>8</sup>. Vì thế, đây có thể là nguồn vật liệu  
 64 dồi dào và tiềm năng hướng đến mục tiêu phát triển  
 65 hệ dung dịch khoan với các đặc tính: giá thành rẻ,  
 66 đáp ứng hiệu quả về kỹ thuật đồng thời tận dụng hiệu  
 67 quả nguồn sinh khối địa phương nhằm hạn chế tối đa  
 68 lượng rác thải ra môi trường.

69 Để chọn được mô hình lưu biến tối ưu cho dung dịch  
 70 khoan, trước hết phải đánh giá hiệu quả của dung  
 71 dịch khoan thông qua tính chất lưu biến của chúng.  
 72 Nhìn chung, chất lưu được phân chia thành hai loại  
 73 chính, chất lưu Newton (Newtonian fluid) với ứng  
 74 suất cắt tỉ lệ thuận với tốc độ cắt và chất lưu phi New-  
 75 ton (non-Newtonian fluid) có ứng suất cắt là một hàm  
 76 của tốc độ cắt. Mô hình lưu biến của chất lưu phi  
 77 Newton được có thể chia thành ba nhóm: (i) mô hình  
 78 thực nghiệm bắt nguồn từ việc kiểm tra dữ liệu thí  
 79 nghiệm, điển hình là mô hình Power Law; (ii) mô  
 80 hình cấu trúc gồm mô hình Casson<sup>9</sup> và mô hình  
 81 Herschel-Buckley<sup>10</sup> (còn được gọi là mô hình yield  
 82 Power Law<sup>11</sup>; (iii) mô hình lý thuyết chỉ ra các yếu  
 83 tố ảnh hưởng đến thông số lưu biến, ví dụ mô hình  
 84 Krieger-Dougherty<sup>8</sup> cho độ nhớt tương đối và mô  
 85 hình Bingham Plastic<sup>12</sup>.

86 Cụ thể, nghiên cứu tập trung vào việc phân tích so  
 87 sánh và lựa chọn mô hình lưu biến tối ưu cho các  
 88 mẫu dung dịch khoan bentonite với hàm lượng bột  
 89 vỏ cam khác nhau. Đầu tiên, quy trình tổng hợp bột  
 90 vỏ cam (BVC) và dung dịch khoan được đưa ra với  
 91 các thông số chi tiết cho từng giai đoạn. Tiếp đến,  
 92 tiến hành phân tích ba mô hình lưu biến Power Law,  
 93 Bingham Plastic và Herschel-Bulkley từ những thông  
 94 số đã được đo, qua đó đánh giá và chọn ra mô hình  
 95 tối ưu cho mẫu dung dịch khoan dựa trên các thông số  
 96 thống kê bao gồm: Sai số phần trăm trung bình tuyệt  
 97 đối (MAPE), sai số bình phương trung bình (MSE) và  
 98 hệ số tương quan ( $R^2$ ).

## VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

### Tổng hợp vật liệu

Để tạo ra vật liệu hữu cơ, tiến hành thu thập rác thải  
 vỏ cam từ địa phương để phân loại và rửa sạch. Sau  
 khi để khô, thái nhỏ thành từng miếng hình vuông có  
 độ dài cạnh khoảng 1 cm để thuận lợi cho việc sấy và  
 xay vật liệu. Chúng được sấy ở nhiệt độ 80<sup>0</sup>C trong  
 48 tiếng bằng máy sấy (Hình 1a). BVC sẽ được hình  
 thành khi tiến hành xay bằng máy xay bột khô QE-  
 500 (Hình 1b) và cuối cùng được rây để thu các kích  
 thước hạt trong khoảng 45-100 $\mu$ m (Hình 1c). BVC,  
 nước cất và bentonite là những chất được sử dụng  
 để chuẩn bị dung dịch khoan phục vụ cho quá trình  
 nghiên cứu được thể hiện trong Hình 2. Quy trình  
 thực nghiệm được thể hiện ở Hình 3. Các chất cần  
 thiết được định lượng bằng cân điện tử Explorer Bal-  
 ances (Ohaus Corporation, Hoa Kỳ) (Hình 1d). Hỗn  
 hợp BVC và nước cất được khuấy sơ bộ bằng thiết bị  
 (Hình 1e) để hạn chế việc tạo bọt, sau đó khuấy cùng  
 với bentonite bằng máy Hamilton Beach (Hình 1f) với  
 tốc độ cao 6000 vòng/phút trong 30 phút được chứa  
 trong cốc như Hình 2. Phần trăm khối lượng của các  
 chất trong dung dịch được trình bày ở Bảng 3. Thiết  
 bị Model 800 Viscometer (OFI Testing Equipment,  
 Inc, Hoa Kỳ) (Hình 1g) để đo độ nhớt sau khi khuấy  
 trộn dung dịch. Tất cả các thí nghiệm được thực hiện  
 theo tiêu chuẩn của Viện dầu khí Hoa Kỳ (American  
 Petroleum Institute –API).

### Mô hình lưu biến

Lực cần thiết để duy trì chuyển động của chất lưu cụ  
 thể thông qua diện tích gọi là ứng suất cắt ( $\tau$ ):  

$$\tau = \text{lực}/(\text{diện tích}) \quad (1)$$
 Ngoài ra ứng suất cắt có thể được tính bằng công thức:  

$$\tau = \text{số đọc} (\text{lb}/100\text{ft}^2) \times 1.067 \times 0.51 \quad (2)$$
 trong đó: 1.067 là giá trị chuyển đổi từ số đọc qua ứng  
 suất cắt  
 0.51 là hệ số chuyển đổi từ đơn vị lb/100ft<sup>2</sup> sang Pa.  
 Tốc độ cắt  $\gamma$  được định nghĩa là tốc độ thay đổi vận  
 tốc khi một lớp chất lỏng đi qua một lớp liền kề chia  
 cho khoảng cách giữa 2 lớp chất lỏng đó:  

$$\gamma = 1.703 \times \text{tốc độ quay (RPM)} \quad (3)$$
 với 1.703 là hệ số chuyển đổi từ tốc độ quay sang tốc  
 độ cắt.

Có rất nhiều mô hình phi Newton đã được dùng để  
 mô tả ứng xử của dung dịch khoan. Nhưng trong  
 nghiên cứu này chỉ sử dụng ba mô hình: Power Law,  
 Bingham Plastic và Herschel-Bulkley. Ba mô hình này  
 mô tả mối quan hệ giữa ứng suất cắt-tốc độ cắt của  
 dung dịch khoan. Ngoài ra, những mô hình này còn  
 được sử dụng để mô tả đặc tính của dòng chảy nhằm

**Bảng 1: Nghiên cứu thể giới ứng dụng vật liệu chất thải hữu cơ làm chất phụ gia trong dung dịch khoan gốc nước**

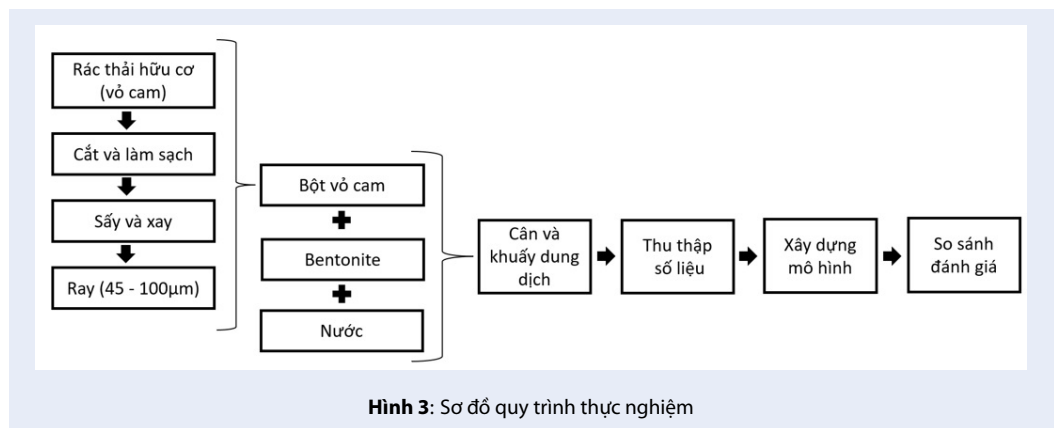
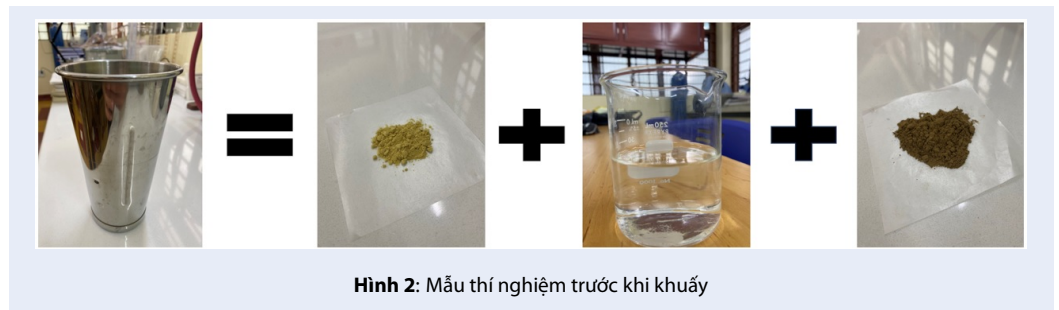
| Tài liệu tham khảo | Vật liệu     | Hàm lượng %        | Công thức dung dịch khoan  | Tính lưu biến                        |                                      |
|--------------------|--------------|--------------------|--|--------------------------------------|--------------------------------------|
|                    |              |                    |  | Độ nhớt dẻo (PV)                     | Giới hạn chảy (YP)                   |
| 4                  | Vỏ bưởi      | 1                  | 600ml H <sub>2</sub> O<br>18.6g Bentonite  | Giảm                                 | Giảm                                 |
| 13                 | Vỏ chuối     | 0.285, 0.57, 1.425 | 325.5ml H <sub>2</sub> O<br>24.5g Bentonite  | Tăng đáng kể đến 0.285%, sau đó giảm | Tăng đáng kể đến 0.285%, sau đó giảm |
| 14                 | Vỏ khoai tây | 1,2,3,4            | 600ml H <sub>2</sub> O<br>0.6g NaOH<br>36g Bentonite                                   | Tăng                                 | Giảm                                 |
| 15                 | Vỏ quýt      |                    |  | Tăng                                 | Tăng                                 |
|                    | Đậu bắp      | 10<br><br>20       | 340ml H <sub>2</sub> O<br>21g Bentonite<br><br>340ml H <sub>2</sub> O<br>21g Bentonite | Tăng                                 | Tăng                                 |

**Bảng 2: Một số nghiên cứu ứng dụng vật liệu từ chất thải hữu cơ tại Việt Nam**

| Tài liệu tham khảo | Vật liệu   | Hiệu quả kỹ thuật  |
|--------------------|--|--|
| 16                 | Nghiên cứu ứng dụng pectin từ vỏ bưởi làm chất trợ keo tụ sinh học trong xử lý nước thải                               | Hiệu suất tách chiết Pectin trong vỏ bưởi lên đến 87.8% ở điều kiện tối ưu (pH = 2).<br>Việc kết hợp PAC và pectin cho hiệu quả xử lý TSS và COD lên tới 91.5% và 65% (cải thiện đáng kể so với việc chỉ dùng PAC) |
| 17                 | Sinh khối từ phụ phẩm nông nghiệp: tiếm năng và hướng ứng dụng cho năng lượng tái tạo tại Đồng bằng sông Cửu Long      | Kết quả nghiên cứu cho thấy lượng sinh khối dồi dào ở Đồng bằng sông Cửu Long có thể tạo ra lượng điện tương đương 113000 GWh, chiếm 33.4% cả nước   |
| 18                 | Tổng quan về tro trấu và khả năng hấp phụ các chất ô nhiễm hữu cơ và vô cơ trong nước của vật liệu chế tạo từ tro trấu | Nghiên cứu cho thấy chất hấp phụ chitosan-tro trấu có khả năng hấp phụ dầu thô từ nguồn nước ô nhiễm đạt 20.66 mg/g  |

**Bảng 3: Phần trăm khối lượng các thành phần trong dung dịch**

| Phần trăm khối lượng | Mẫu A | Mẫu B | Mẫu C |
|----------------------|-------|-------|-------|
| BVC (%)              | 0.00  | 0.25  | 0.50  |
| Bentonite (%)        | 5.00  | 5.00  | 5.00  |
| Nước cất (%)         | 95.00 | 94.75 | 94.50 |



150 xác định khả năng thực hiện một số chức năng cụ thể  
151 như làm sạch giếng khoan, chống ăn mòn, mang các  
152 hạt vụn trong quá trình khoan lên bề mặt và tính toán  
153 thủy lực.

154 Mô hình Power Law (PLM) thể hiện thông qua:

$$\tau = K(\gamma)^n \quad (4)$$

155 trong đó  $n$  là chỉ số ứng xử dòng chất lỏng (flow be-  
156 havior index) biểu thị xu hướng ứng xử của chất lỏng  
157 và không có thứ nguyên,  $K$  là hệ số đồng nhất (con-  
158 sistency coefficient) đóng vai trò là chỉ số độ nhớt của  
159 hệ thống có đơn vị là  $\text{lb}\cdot\text{sec}^n/100\text{ft}^2$  hoặc  $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ . Khi  $n$   
160  $< 1$  thu được chất lỏng ở dạng shear-thinning và khi  
161  $n > 1$  cho dạng shear-thickening<sup>19</sup>.

162 Mô hình Bingham Plastic (BPM) được trình bày với  
163 công thức:

$$\tau = YP + PV(\gamma) \quad (5)$$

164 trong đó:  $YP$  (yield point) là giới hạn chảy, đơn vị  
165  $\text{lb}/100\text{ft}^2$  hoặc  $\text{Pa}$

166  $PV$  (plastic viscosity) là độ nhớt dẻo, đơn vị  $\text{cP}$  hoặc  
167  $\text{Pa}\cdot\text{s}$

168 Mở rộng ra, sự kết hợp của mô hình Power Law  
169 và Bingham Plastic cũng như gọi là mô hình Power  
170 Law cải tiến tựu chung là cách để nói đến mô hình  
171 Herschel-Bulkley<sup>20</sup>.

172 Mô hình Herschel-Bulkley (HBM) được giới thiệu  
173 qua:

$$\tau = \tau_0 + K_{HB}\gamma^{n_{HB}} \quad (6)$$

174 trong đó  $\tau_0$  là ứng suất căng (Herschel-Bulkley yield  
175 stress) có đơn vị  $\text{Pa}$ ,  $K_{HB}$  (đơn vị:  $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ ) là chỉ số đồng  
176 nhất (Herschel-Bulkley consistency index) còn  $n_{HB}$   
177 là chỉ số ứng xử dòng chất lỏng (Herschel-Bulkley flow  
178 behavior index). Khi  $\tau \geq \tau_{HB}$  thì phương trình (6) có  
179 thể dùng được<sup>21</sup>.

### 180 Chỉ số đo lường độ chính xác

181 Các chỉ số thống kê sau đây đã được sử dụng để dự  
182 đoán mức độ sai lệch của từng mô hình lưu biến so  
183 với ứng suất cắt đo đạc.

184 1. Giá trị sai số bình phương trung bình (MSE) được  
185 cho bởi công thức:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_1^n (\tau_{measured} - \tau_{calculated})^2 \quad (7)$$

186 2. Giá trị sai số phần trăm trung bình tuyệt đối  
187 (MAPE) được thể hiện bằng công thức sau:

$$MAPE = \left[ \frac{1}{n} \sum_1^n \left| \frac{\tau_{measured} - \tau_{calculated}}{\tau_{measured}} \right| \right] \times 100 \quad (8)$$

3. Giá trị hệ số tương quan ( $R^2$ ) được tính bằng công  
thức:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (\tau_{measured} - \tau_{calculated})^2}{\sum (\tau_{measured} - (\tau_{measured})_{ave})^2} \quad (9)$$

Trong đó:

$\tau_{measured}$  : ứng suất cắt đo đạc

$\tau_{calculated}$  : ứng suất cắt tính toán

$(\tau_{measured})_{ave}$  : trung bình ứng suất cắt đo đạc

## KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Như được trình bày ở Bảng 4, những thông số được  
đo đạc dựa trên việc phân tích PLM ( $n$ ,  $K$ ), BPM ( $YP$ ,  
 $PV$ ) và HBM ( $\tau_{HB}$ ,  $n_{HB}$ ,  $K_{HB}$ ) tại các mẫu dung dịch  
khoan trong điều kiện nhiệt độ phòng.

### Phân tích tính chất lưu biến mẫu A

Bảng 5 trình bày kết quả đạt được với các chỉ số từ  
máy đo độ nhớt ở mẫu A. Phương trình (2) áp dụng  
để tính ứng suất cắt đo đạc từ số đọc. Tốc độ cắt được  
tính bằng công thức từ phương trình (3). Với hệ số  
nhất quán  $K = 14.78 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ , chỉ số ứng xử dòng chảy  
 $n = 0.04$ , giới hạn chảy  $YP = 16.47 \text{ Pa}$ , độ nhớt dẻo  
 $PV = 0.0051 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ , ứng suất  $\tau_0 = 16.75 \text{ Pa}$ , chỉ số  $n_{HB}$   
 $= 1.41$ , chỉ số đồng nhất  $K_{HB} = 0.0003 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$  được lấy  
từ Bảng 4. Từ đó, xây dựng được phương trình ứng  
suất cắt tính toán của mẫu A:

$$\begin{aligned} PLM : \tau &= 14.78(\gamma)^{0.04}; \\ BPM : \tau &= 16.47 + 0.0051\gamma; \\ HBM : \tau &= 16.75 + 0.0003\gamma^{1.41} \end{aligned}$$

### Phân tích tính chất lưu biến mẫu B và C

Việc thêm vào BVC với hàm lượng 0.25% và 0.5%  
tương ứng ở mẫu B và C, có thể thấy được ảnh hưởng  
của loại vật liệu này lên tính chất của dung dịch khoan  
bentonite. Đối với hệ dung dịch khoan thông thường,  
khoảng giá trị tối ưu cho chỉ số  $n$  dao động từ 0.2 đến  
0.9<sup>22</sup>. Với mô hình Power Law, chỉ số ứng xử dòng  
chảy  $n$  tăng đáng kể từ 0.04 (Mẫu A) lên 0.157 ở mẫu  
có hàm lượng 0.50% BVC, có thể thấy việc thêm BVC  
đã tác động chỉ số  $n$  theo hướng tăng dần đến khoảng  
giá trị tối ưu nêu trên. Ngược lại, hệ số nhất quán  $K$  có  
xu hướng giảm mạnh còn  $4.42 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$  ở mẫu C, so với  
 $14.78 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$  của mẫu A ban đầu (Bảng 4). Bên cạnh  
đó, các thông số  $YP$  và  $PV$  từ mô hình Bingham Plas-  
tic cũng thay đổi khi có sự xuất hiện của BVC. Giá  
trị  $YP$  ảnh hưởng không nhỏ đến khả năng bơm của  
dung dịch khoan và gây ra sự thất thoát áp suất, vì  
vậy  $YP$  trong khoảng 10 - 25  $\text{lb}/100\text{ft}^2$  hay 5.1 - 12.75  
 $\text{Pa}$  được xem là khoảng giá trị ổn định đối với quá

**Bảng 4: Các thông số của ba mô hình Power Law, Bingham Plastic và Herschel-Bulkley**

| Mô hình          | Thông số                 | Mẫu A<br>(0% BVC) | Mẫu B<br>(0.25% BVC) | Mẫu C<br>(0.50% BVC) |
|------------------|--------------------------|-------------------|----------------------|----------------------|
| Power Law        |                          | 0.04              | 0.12                 | 0.157                |
|                  | K (Pa.s <sup>n</sup> )   | 14.78             | 6.31                 | 4.42                 |
| Bingham Plastic  | YP (Pa)                  | 16.47             | 9.08                 | 7.33                 |
|                  | PV (Pa.s)                | 0.0051            | 0.0073               | 0.0077               |
| Herschel-Bulkley | $\tau_o$ (Pa)            | 16.75             | 8.94                 | 6.95                 |
|                  | nHB                      | 1.41              | 0.91                 | 0.80                 |
|                  | KHB (Pa.s <sup>n</sup> ) | 0.0003            | 0.0136               | 0.0311               |

**Bảng 5: Các chỉ số từ máy đo độ nhớt ở mẫu A**

| Tốc độ quay | Số đọc                   | Tốc độ cắt         | Ứng suất cắt đo đặc | Ứng suất cắt tính toán |       |       |
|-------------|--------------------------|--------------------|---------------------|------------------------|-------|-------|
| (RPM)       | (lb/100ft <sup>2</sup> ) | (s <sup>-1</sup> ) | (Pa)                | (Pa)                   | PLM   | BPM   |
|             |                          |                    |                     |                        |       | HBM   |
| 600         | 43                       | 1021.80            | 21.97               | 19.64                  | 21.69 | 22.01 |
| 300         | 37                       | 510.90             | 18.90               | 19.09                  | 19.08 | 18.73 |
| 200         | 35                       | 340.60             | 17.88               | 18.77                  | 18.21 | 17.86 |
| 100         | 33                       | 170.30             | 16.86               | 18.25                  | 17.34 | 17.17 |
| 60          | 33                       | 102.18             | 16.86               | 17.87                  | 16.99 | 16.95 |
| 30          | 33                       | 51.09              | 16.86               | 17.37                  | 16.73 | 16.82 |
| 6           | 33                       | 10.22              | 16.86               | 16.26                  | 16.52 | 16.75 |
| 3           | 33                       | 5.11               | 16.86               | 15.80                  | 16.49 | 16.75 |

trình khoan<sup>23</sup>. Cụ thể, ở hàm lượng 0.25% và 0.5%  
 BVC, giá trị YP tương ứng là 9.08 và 7.33 Pa, giảm  
 hơn một nửa so với YP của mẫu dung dịch khoan ban  
 đầu. So với thông số YP, kết quả từ Bảng 4 cho thấy  
 giá trị của PV tăng nhẹ tỉ lệ với hàm lượng BVC thêm  
 vào và đạt giá trị lớn nhất ở mẫu C (0.50% BVC) với  
 0.0077 Pa.s. Xu hướng tăng của PV có thể đến từ sự  
 gia tăng hàm lượng hạt rắn có trong dung dịch khoan  
 gốc nước, điều đó gây ra tổn thất áp suất do ma sát  
 trong giai đoạn đầu của quá trình khoan<sup>2</sup>.

Bảng 6 trình bày kết quả đạt được với các chỉ số từ  
 máy đo độ nhớt ở mẫu B. Từ phương trình (2) và (3)  
 lần lượt tính được ứng suất cắt đo đặc từ số đọc và tốc  
 độ cắt. Với hệ số nhớt quán K = 6.31 Pa.s<sup>n</sup>, chỉ số ứng  
 xử dòng chảy n = 0.12, giới hạn chảy YP = 9.08 Pa, độ  
 nhớt dẻo PV = 0.0073 Pa.s, ứng suất  $\tau_o$  = 8.94 Pa, chỉ  
 số n<sub>HB</sub> = 0.91, chỉ số đồng nhất K<sub>HB</sub> = 0.0136 Pa.s<sup>n</sup>  
 được lấy từ Bảng 4. Qua đó, xây dựng được phương

trình ứng suất cắt tính toán của mẫu B:

$$\begin{aligned}
 PLM : \tau &= 6.31 (\gamma)^{0.12}; \\
 BPM : \tau &= 9.08 + 0.0073\gamma; \\
 HBM : \tau &= 8.94 + 0.0136\gamma^{0.0136}
 \end{aligned}$$

Tương tự, có thể tính được ứng suất cắt đo đặc từ số  
 đọc và tốc độ cắt ở mẫu C dựa trên phương trình (2),  
 (3) và kết quả các chỉ số từ máy đo độ nhớt từ Bảng 7.  
 Bên cạnh đó, ứng suất cắt tính toán của mẫu C cũng  
 được biểu diễn qua phương trình sau:

$$\begin{aligned}
 PLM : \tau &= 4.42 (\gamma)^{0.157}; \\
 BPM : \tau &= 7.33 + 0.0077\gamma; \\
 HBM : \tau &= 6.95 + 0.0311\gamma^{0.80}
 \end{aligned}$$

### So sánh các mô hình lưu biến

Như được trình bày ở Hình 4(a), Hình 5(a) và  
 Hình 6(a), giá trị ứng suất cắt tính toán từ PLM thấp  
 hơn giá trị đo tại tốc độ cắt cao và thấp. Do đó, kết  
 quả từ PLM không thể hiện chính xác ứng xử của

**Bảng 6: Các chỉ số từ máy đo độ nhớt ở mẫu B**

| Tốc độ quay | Số đọc                   | Tốc độ cắt         | Ứng suất cắt đo đạc | Ứng suất cắt tính toán |       |       |
|-------------|--------------------------|--------------------|---------------------|------------------------|-------|-------|
| (RPM)       | (lb/100ft <sup>2</sup> ) | (s <sup>-1</sup> ) | (Pa)                | PLM                    | BPM   | HBM   |
| 600         | 32                       | 1021.80            | 16.35               | 14.35                  | 16.59 | 16.47 |
| 300         | 26                       | 510.90             | 13.28               | 13.22                  | 12.83 | 12.95 |
| 200         | 23                       | 340.60             | 11.75               | 12.60                  | 11.58 | 11.71 |
| 100         | 20                       | 170.30             | 10.22               | 11.60                  | 10.33 | 10.41 |
| 60          | 19                       | 102.18             | 9.71                | 10.92                  | 9.83  | 9.86  |
| 30          | 18                       | 51.09              | 9.20                | 10.06                  | 9.46  | 9.43  |
| 6           | 18                       | 10.22              | 9.20                | 8.31                   | 9.16  | 9.05  |
| 3           | 18                       | 5.11               | 9.20                | 7.65                   | 9.12  | 9.00  |

**Bảng 7: Các chỉ số từ máy đo độ nhớt ở mẫu C**

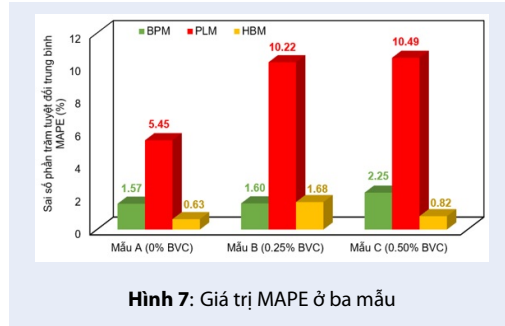
| Tốc độ quay | Số đọc                   | Tốc độ cắt         | Ứng suất cắt đo đạc | Ứng suất cắt tính toán |       |       |
|-------------|--------------------------|--------------------|---------------------|------------------------|-------|-------|
| (RPM)       | (lb/100ft <sup>2</sup> ) | (s <sup>-1</sup> ) | (Pa)                | PLM                    | BPM   | HBM   |
| 600         | 29                       | 1021.80            | 14.82               | 13.11                  | 15.17 | 14.89 |
| 300         | 23                       | 510.90             | 11.75               | 11.76                  | 11.25 | 11.51 |
| 200         | 20                       | 340.60             | 10.22               | 11.03                  | 9.94  | 10.25 |
| 100         | 17                       | 170.30             | 8.68                | 9.89                   | 8.64  | 8.85  |
| 60          | 16                       | 102.18             | 8.17                | 9.13                   | 8.11  | 8.21  |
| 30          | 15                       | 51.09              | 7.66                | 8.19                   | 7.72  | 7.68  |
| 6           | 14                       | 10.22              | 7.15                | 6.36                   | 7.41  | 7.15  |
| 3           | 14                       | 5.11               | 7.15                | 5.71                   | 7.37  | 7.07  |

258 dung dịch khoan của ba mẫu tại tốc độ cắt thấp khi  
 259 dung dịch nằm trong khoảng không vành xuyên và  
 260 ở tốc độ cắt cao khi dung dịch từ trong cột cần đi ra  
 261 ngoài choòng khoan<sup>24</sup>. Trong khi đó, BPM và HBM  
 262 thể hiện được chính xác ứng xử của dung dịch ở cả  
 263 hai trường hợp so với giá trị đo. Hình 4(b), Hình 5(b)  
 264 và Hình 6(b) cho thấy giá trị của HBM ở cả ba mẫu  
 265 đều tiệm cận với đường thẳng  $X = Y$  hơn so với PLM  
 266 và BPM. Điều này thể hiện giá trị ứng suất cắt tính  
 267 toán từ HBM gần giống với giá trị ứng suất cắt đo đạc.  
 268 Trong khi đó, các giá trị của PLM có xu hướng lệch ra  
 269 xa so với đường  $X = Y$ , nguyên nhân là do có sự sai  
 270 lệch giữa kết quả tính toán và kết quả đo đạc.  
 271 Sai số bình phương trung bình (MSE), sai số phần  
 272 trăm trung bình tuyệt đối (MAPE), hệ số tương quan  
 273 ( $R^2$ ) được tính từ công thức (7), (8), (9) để đánh giá

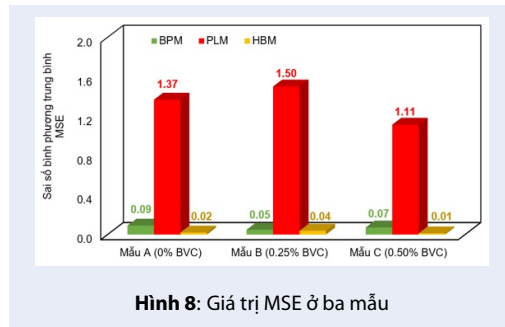
mức độ sai lệch kết quả tính toán ứng suất cắt từ hai  
 mô hình so với giá trị ứng suất cắt đo đạc. Hình 7 cho  
 thấy giá trị MAPE ở PLM dao động từ 5.45 - 10.49%,  
 cao hơn rất nhiều so với số liệu sai số thu được từ BPM  
 và HBM, tương ứng với giá trị sai số cao nhất là 2.25%  
 tại mẫu C và 1.68% tại mẫu B. Điều này cho thấy giá  
 trị ứng suất cắt tính toán được từ HBM gần đúng hơn  
 so với giá trị đo đạc. Tương tự, Hình 8 thể hiện giá  
 trị MSE ở PLM cao hơn so với BPM và HBM. Có thể  
 khẳng định rằng PLM không thực sự tối ưu trong việc  
 tính toán ứng suất cắt ứng với ba mẫu trong nghiên  
 cứu này. Hơn thế nữa, BPM có sai số bình phương  
 trung bình khá thấp từ 0.05-0.09, con số chỉ ở khoảng  
 0.01-0.04 thu được tại HBM qua đó thể hiện được độ  
 chính xác cao đồng thời ước lượng giá trị ứng suất cắt  
 xấp xỉ so với giá trị đo đạc.  $R^2$  là giá trị để đánh giá



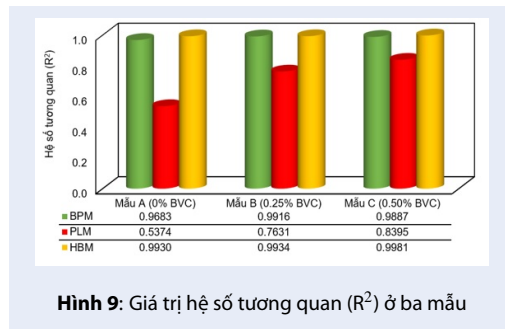
độ chính xác của các mô hình<sup>25</sup>. Ngược lại với MSE và MAPE, Hình 9 thể hiện giá trị hệ số tương quan ở PLM thấp hơn so với BPM và HBM.



Hình 7: Giá trị MAPE ở ba mẫu



Hình 8: Giá trị MSE ở ba mẫu



Hình 9: Giá trị hệ số tương quan (R<sup>2</sup>) ở ba mẫu

## KẾT LUẬN

Đánh giá được tiến hành cho cả ba mẫu dung dịch khoan gốc nước để lựa chọn mô hình lưu biến phù hợp và dự đoán chính xác ứng suất cắt bằng cách sử dụng ba mô hình lưu biến Power Law, Bingham Plastic và Herschel-Bulkley cùng với việc sử dụng ba thông số thống kê để tính toán ứng suất cắt gần nhất so với ứng suất cắt đo đạc.

Một vài kết luận chính được rút ra từ đánh giá:

- Mô hình Herschel-Bulkley dự đoán chính xác các ứng xử của dung dịch khoan hơn mô hình

Power Law và Bingham Plastic ngay cả khi có sự có mặt BVC với hàm lượng tăng dần dựa trên các thông số thống kê MSE, MAPE, và R<sup>2</sup>. Điều này giải thích cho việc lý do Herschel-Bulkley là một mô hình cải tiến của mô hình Power Law<sup>20</sup>.

- Mô hình Power Law đưa thông tin chính xác hơn tại điều kiện tốc độ cắt thấp nhưng có một bất lợi tại điều kiện tốc độ cắt cao.
- Mô hình Bingham Plastic dự đoán không chính xác ứng xử dòng chất lỏng tại tốc độ cắt thấp.

Vật liệu bột vỏ cam có ảnh hưởng tích cực lên dung dịch khoan giúp làm tăng chỉ số n đến khoảng tối ưu (từ 0.2 đến 0.9)<sup>22</sup> của dung dịch khoan và làm giảm giá trị YP hạn chế việc tổn hao áp suất khi bơm nhưng vẫn trong khoảng giá trị chấp nhận được (10 - 25 lb/100ft<sup>2</sup> hay 5.1 - 12.75 Pa)<sup>23</sup> vẫn có khả năng mang theo các hạt. Tuy nhiên giá trị PV có xu hướng tăng nhẹ, điều này gây ra tổn thất áp suất do ma sát trong giai đoạn đầu của quá trình khoan<sup>2</sup>.

## LỜI CẢM ƠN

Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ nghiên cứu này.

## KÝ HIỆU VIẾT TẮT

MSE Sai số bình phương trung bình (Mean Squared Error)

MAPE Sai số phần trăm trung bình tuyệt đối (Mean Average Percentage Error)

R<sup>2</sup> Hệ số tương quan (Coefficient of Determination)

n Chỉ số ứng xử dòng chảy (Flow Behavior Index)

K Hệ số nhất quán (Consistency Coefficient)

YP Giới hạn chảy (Yield Point)

PV Độ nhớt dẻo (Plastic Viscosity)

$\tau$  Ứng suất cắt (Shear stress)

$\dot{\gamma}$  Tốc độ cắt (Shear rate)

$\tau_o$  Herschel-Bulkley yield stress

$K_{HB}$  Herschel-Bulkley consistency index

$n_{HB}$  Herschel-Bulkley flow behavior index

BVC Bột vỏ cam (Organe Peel Powder)

PLM Mô hình Power Law (Power Law model)

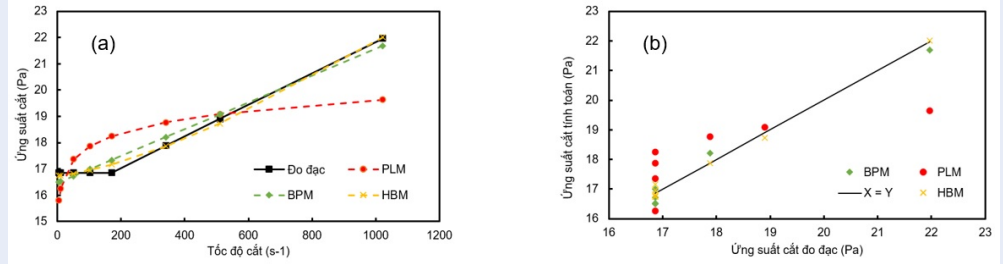
BPM Mô hình Bingham Plastic (Bingham Plastic model)

HBM Mô hình Herschel-Bulkley (Herschel-Bulkley model)

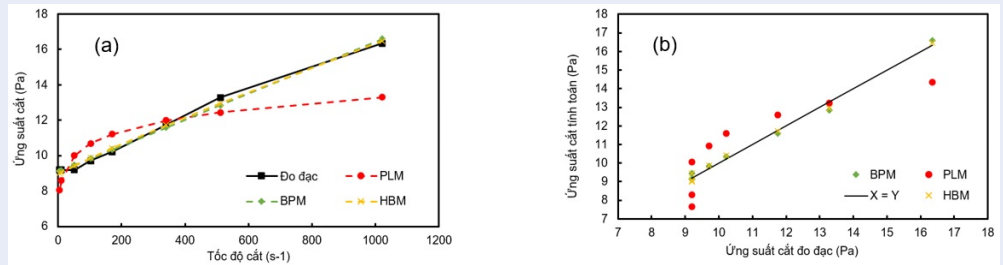
## XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

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 sao chép lại các bài nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích đối với bất kỳ cá nhân, cơ quan, tổ chức nào.

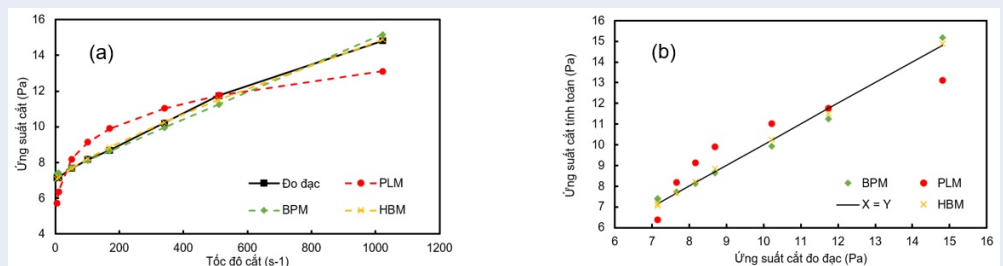




Hình 4: Mối quan hệ mẫu A giữa: (a) ứng suất cắt và tốc độ cắt; (b) ứng suất cắt tính toán và ứng suất cắt đo đạc



Hình 5: Mối quan hệ mẫu B giữa: (a) ứng suất cắt và tốc độ cắt; (b) ứng suất cắt tính toán và ứng suất cắt đo đạc



Hình 6: Mối quan hệ mẫu C giữa: (a) ứng suất cắt và tốc độ cắt; (b) ứng suất cắt tính toán và ứng suất cắt đo đạc

### ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Đình Phước Hậu và Lý Trung Hiếu đưa ra ý tưởng, thu thập dữ liệu, và viết bản thảo. Trần Hữu Phước và Lê Tấn Phát thu thập dữ liệu, phân tích và viết bản thảo. Trần Trung Dũng, Hoàng Trọng Quang và Trần Nguyễn Thiện Tâm đã đóng góp định hướng nghiên cứu và chỉnh sửa bản thảo. Lê Nguyễn Hải Nam đã đóng góp ý tưởng, giám sát, phân tích và viết bản thảo. Tất cả các tác giả đã đọc và duyệt bản thảo cuối cùng.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Mitchell RF, Miska SZ. Fundamentals of Drilling Engineering. Spe Textbook Series Vol. 12, vol. 12. 2011; Available from: <https://doi.org/10.2118/9781555632076>.
- Mohammed NA, AL Khalaf H, Kovacsne GF, Yalman E, Depci T. Effect of Banana Peels Waste on the Properties of Water Based

- Mud. Petroleum and Coal. 2023;65(1):107-117;
- Pham S, Nguyen T, Nguyen H, Thai C, Pham T, Nguyen T. Thử nghiệm hệ dd khoan Protrol tại mỏ Rồng.pdf. PETROVIET-NAM. 2018;5:35-41;
- Zhang L, Wu X, Sun Y, Cai J, Lyu S. Experimental study of the pomelo peel powder as a novel shale inhibitor in water-based drilling fluids. Energy Exploration and Exploitation. 2020;38(2):569-588; Available from: <https://doi.org/10.1177/0144598719882147>.
- Phạm KS, Sơn Đ, Nguyễn T, Hùng M, Thái TS, Chương H. Nghiên cứu phát triển hệ dung dịch khoan ức chế trương nở sét cao KLATROL. Petrovietnam. 2012. [Online]; Available from: <http://pvj.com.vn/index.php/TCDDK/article/view/953>.
- Phạm KS, Sơn Đ, Nguyễn T, Hùng M, Thái TS, Chương H. Nghiên cứu phát triển hệ dung dịch khoan ức chế trương nở sét cao KLATROL. Petrovietnam. 2012;
- Medved I, Gaurina-me N, Mavar KN. Fluid Additive. 2022;
- Krieger IM, Dougherty TJ. A Mechanism for Non-Newtonian Flow in Suspensions of Rigid Spheres. Trans Soc Rheol. 1959;3(1):137-152; Available from: <https://doi.org/10.1122/1.548848>.

- 390 9. Casson M. The Rheology of Disperse Systems. Pergamon Press,  
391 London. 1959;.
- 392 10. Herschel WH, Bulkley R. Konsistenzmessungen von  
393 gummi-benzollösungen. Kolloid-Zeitschrift. 1926;39:291-  
394 300; Available from: <https://doi.org/10.1007/BF01432034>.
- 395 11. Gautam S, Guria C. An improved prediction of frictional pres-  
396 sure drop using an accurate shear rate equation for high-  
397 yield stress drilling fluids at the surface and downhole con-  
398 ditions. J Pet Sci Eng. 2022;218(July):110981; Available from:  
399 <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2022.110981>.
- 400 12. Bingham EC. Fluidity and Plasticity. McCraw-Hill Book Com-  
401 pany, 439th ed. New York, London. 1922;.
- 402 13. Al-saba MT, Amadi KW, Al-Hadramy KO, Al Dushaishi MF, Al-  
403 Hameedi A, Alkinani H. Experimental investigation of bio-  
404 degradable environmentally friendly drilling fluid additives  
405 generated from waste. Soc Pet Eng. 2018;190655; Available  
406 from: <https://doi.org/10.2118/190655-MS>.
- 407 14. Al-Hameedi ATT, Alkinani HH, Dunn-Norman S, Alkhamis  
408 MM, Feliz JD. Full-set measurements dataset for a water-  
409 based drilling fluid utilizing biodegradable environmentally  
410 friendly drilling fluid additives generated from waste. Data  
411 Br. 2020;28:104945; PMID: 31890794. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104945>.
- 412 15. Murtaza M, Ahmad HM, Zhou X, Al-Shehri D, Mahmoud M,  
413 Shahzad Kamal M. Okra mucilage as an environmentally  
414 friendly and non-toxic shale swelling inhibitor in water-based  
415 drilling fluids. Fuel. 2022;320; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123868>.
- 416 16. Thi HN. Nghiên cứu ứng dụng Pectin từ vỏ bưởi làm chất  
417 trợ keo tụ sinh học trong xử lý nước thải. VNU Journal of  
418 Science: Earth and Environmental Sciences. 2017;33(1S):157-  
419 162. [Online]; Available from: [https://js.vnu.edu.vn/EES/article/  
420 view/4169](https://js.vnu.edu.vn/EES/article/view/4169).
- 421 17. Nguyen N. Sinh khối từ phụ phẩm nông nghiệp: Tiềm năng  
422 và hướng ứng dụng cho năng lượng tái tạo tại đồng bằng  
423 Sông Cửu Long.pdf. 2022;58; Available from: [https://doi.org/  
424 10.22144/ctu.jvn.2022.206](https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2022.206).
- 425 18. Toan PP. TỔNG QUAN VỀ TRO TRẤU VÀ KHẢ NĂNG HẤP PHỤ  
426 CÁC CHẤT Ô NHIỄM HỮU CƠ VÀ VÔ CƠ TRONG NƯỚC CỦA VẬT  
427 LIỆU CHẾ TẠO TỪ TRO TRẤU.pdf. AGU Int J Sci. 2022;30(1):71-  
428 82;.
- 429 19. Johnson FA, Dosunmu A, Boniface OA. An Improved Model for  
430 Accurate Description of Drilling Fluid Rheological Behaviour  
431 in Enhanced-Water and Low-Toxicity Oil-Based Muds. Soc  
432 Pet Eng. 2023;217171; Available from: [https://doi.org/10.2118/  
433 217171-MS](https://doi.org/10.2118/217171-MS).
- 434 20. Andaverde JA, Wong-Loya JA, Vargas-Tabares Y, Robles  
435 M. A practical method for determining the rheology of  
436 drilling fluid. J Pet Sci Eng. 2019;180(December 2018):150-  
437 158; Available from: [https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.05.  
438 039](https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.05.039).
- 439 21. Dallagi H, Aloui F, Bouvier L, Wauquier L, Benezech T. Nu-  
440 merical and experimental investigations into the rheological  
441 behaviour of wet foam flowing under a fence. Food Bioprod  
442 Process. 2022;132:211-225; Available from: [https://doi.org/10.  
443 1016/j.fbp.2021.12.009](https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.12.009).
- 444 22. King RP. Introduction to Practical Fluid Flow. 2002. [On-  
445 line]; Available from: [https://www.beyonddiscovery.org/  
446 newtonian-fluids/531-dense-slurries.html](https://www.beyonddiscovery.org/newtonian-fluids/531-dense-slurries.html).
- 447 23. Murtaza M, Tariq Z, Zhou X, Al-Shehri D, Mahmoud M, Ka-  
448 mal MS. Okra as an environment-friendly fluid loss control  
449 additive for drilling fluids: Experimental & modeling studies.  
450 J Pet Sci Eng. 2021;204(April):108743; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.108743>.
- 451 24. Becker TE, Morgan RG, Chin WC, Griffith JE. Improved Rheol-  
452 ogy Model and Hydraulics Analysis for Tomorrow's Wellbore  
453 Fluid Applications. Proceedings - SPE Production Operations  
454 Symposium. 2003;675-684; Available from: [https://doi.org/10.  
455 2523/82415-MS](https://doi.org/10.2523/82415-MS).
- 456 25. Arain SUIAH, Ridha S, Suppiah RR, Irawan S. Developing an  
457 efficient ester-based drilling fluid based on Calophyllum Ino-  
458 459 460

phyllum oil for eco-friendly drilling of unconventional shale 461  
formation. J Pet Sci Eng. 2022; Available from: [https://doi.org/  
462 10.1016/j.petrol.2022.111141](https://doi.org/10.1016/j.petrol.2022.111141). 463

# Selecting an Appropriate Rheological Model for Environmentally Friendly Water-Based Drilling Fluid

**Đinh Phuoc Hau<sup>1,2</sup>, Le Tan Phat<sup>1,2</sup>, Tran Huu Phuoc<sup>1,2</sup>, Ly Trung Hieu<sup>1,2</sup>, Tran Trung Dung<sup>1,2</sup>, Hoang Trong Quang<sup>1,2</sup>, Tran Nguyen Thien Tam<sup>1,2</sup>, Le Nguyen Hai Nam<sup>1,2,\*</sup>**



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

## ABSTRACT

A vital component of oil and gas drilling operations is drilling fluid. Water-based drilling fluids have been enhanced with organic-based components to encourage the protection of the environment and sustainable development. Recently, materials derived from orange peels have been studied and found useful in improving the quality of water-based drilling fluids. This study examined mathematical models to describe the rheological properties of water based drilling fluids incorporating orange peel powder in various concentration. Selecting a suitable rheological model facilitates the estimation of pressure losses and enables more precise hydraulic calculations. Three rheological models, namely Bingham Plastic, Power Law and Herschel-Bulkley, were investigated. To assess the accuracy of the models compared to experimental data obtained in the laboratory, performance metrics including Mean Absolute Percentage Error (MAPE), Mean Squared Error (MSE), and Coefficient of Determination ( $R^2$ ) were employed. The results indicate that the rheological behavior of drilling fluids incorporating orange peel powder can be adequately represented by the Herschel-Bulkley model, exhibiting the highest  $R^2$  value, lowest MAPE and MSE values when compared to the Power Law model and Bingham Plastic model.

**Key words:** Rheological model, Environmentally friendly material, Orange peel powder, Water based drilling fluid

<sup>1</sup>Department of Drilling and Production Engineering, Faculty of Geology and Petroleum Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam

<sup>2</sup>Vietnam National University Ho Chi Minh City, Linh Trung Ward, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam

## Correspondence

**Le Nguyen Hai Nam**, Department of Drilling and Production Engineering, Faculty of Geology and Petroleum Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam

Vietnam National University Ho Chi Minh City, Linh Trung Ward, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam

Email: lnhnam@hcmut.edu.vn

## History

- Received: 30-9-2023
- Accepted: 15-1-2024
- Published Online:

DOI :



**Cite this article :** Hau D P, Phat L T, Phuoc T H, Hieu L T, Dung T T, Quang H T, Tam T N T, Nam L N H. **Selecting an Appropriate Rheological Model for Environmentally Friendly Water-Based Drilling Fluid.** *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology* 2024; (1):1-1.