

Rafał Wiśniowski*, Przemysław Stęperski*

**WPLYW PARAMETRÓW REOLOGICZNYCH
MODELU HERSCHELA–BULKLEYA
NA WYNOSENIE ZWIERCIN****

1. WSTĘP

Jednym z podstawowych zadań płuczki wiertniczej jest zapewnienie prawidłowego oczyszczania dna otworu ze zwiercin oraz zapobiegania ich akumulacji zarówno na dnie otworu wiertniczego, jak i w przestrzeni pierścieniowej. W ostatnim czasie ze względu na rozwój technologii wierceń kierunkowych i horyzontalnych zagadnienie efektywności wynoszenia zwiercin staje się coraz bardziej ważne. Niewystarczające oczyszczanie wierconego otworu prowadzi do wielu problemów takich, jak:

- zwiększenie możliwości przychwycenia przewodu wiertniczego,
- wzrost momentu obrotowego,
- spadek prędkości wiercenia,
- wzrost oporów przepływu płuczki wiertniczej,
- zmiany ciśnień w przestrzeni pierścieniowej mogących powodować rozszielinowanie słabozwężłych formacji skalnych,
- osiadanie zwiercin na dolnej ścianie odchylonego otworu wiertniczego,
- występowanie zjawiska *bed cuttings effect* oraz efektu Boycota.

W skali światowej straty powstałe na skutek awarii i komplikacji wynikających z niewłaściwego oczyszczania otworów wiertniczych szacuje się na kwotę od 100 do 500 mln USD [4].

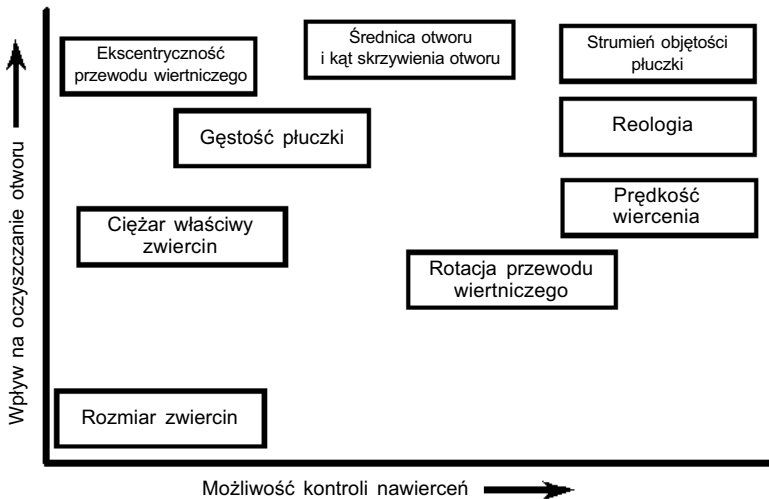
Problem kontroli sedimentacji zwiercin w otworach naftowych jest zagadnieniem znany od wielu lat, lecz pomimo dużych nakładów na prace naukowo-badawcze nie zo-

* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Pracę wykonano w ramach badań własnych WWNiG AGH

stał jednak do dzisiaj w pełni rozwiązany. Początkowo aplikowano do celów wiertniczych dokonania hydromechaników: Stokesa, Allena, Rittingera, Pigota [5, 7, 8]. Następnie badania w odniesieniu do otworów wiertniczych pionowych prowadzili, m.in: Moore, Chien, Walker, Mayes [3]. Ostatnio nasilono prace badawcze nad wyznaczeniem zależności dla otworów kierunkowych i horyzontalnych – Miska, Larsen, Alkafeef i inni [1, 2, 6].

Mimo wielu wysiłków w omawianej tematyce nie udało się wyznaczyć równań trafnie opisujących zjawisko wynoszenia zwiercin. Na rysunku 1 przedstawiono czynniki wpływające na efektywność wynoszenie zwiercin, jak można zauważyć jednym z kluczowych czynników jest reologia płuczki wiertniczej. Na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH podjęto próby określenia wpływu parametrów reologicznych na transport zwiercin w otworze wiertniczym.



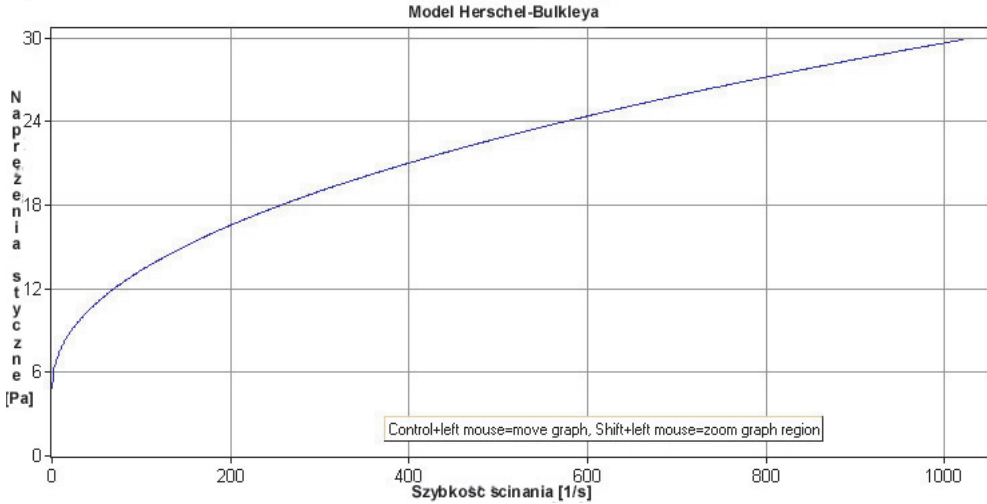
Rys. 1. Czynniki wpływające na wynoszenie zwiercin

Unikalność proponowanej metodyki polega na zastosowaniu do celów badawczych modelu reologicznego cieczy wiertniczej Herschela–Bulkleya w postaci:

$$\tau = \tau_y + k\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

Model ten bowiem jako jedyny pozwala na uwzględnienie jednocześnie właściwości plastyczno-lepkich i pseudoplastycznych płynów wykorzystywanych w wiertnictwie. Zasady doboru modelu reologicznego do rzeczywistego płynu wiertniczego przedstawiono w pracy [9].

Zależności reologiczne dla modelu Herschela–Bulkleya przedstawiono na rysunku 2.

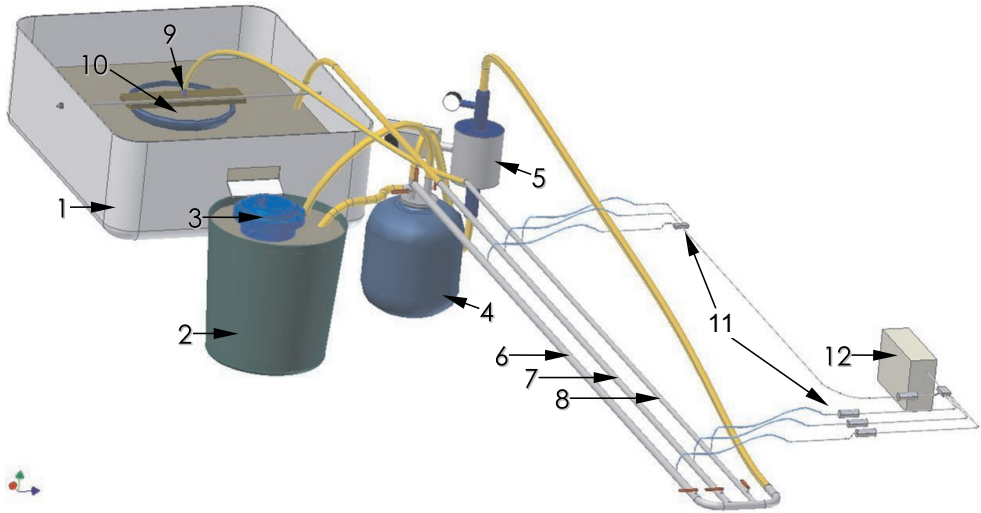


Rys. 2. Zależności reologiczne pomiędzy prędkością ścinania a naprężeniami ścinającymi dla modelu Herschela–Bulkleya uzyskiwane przy zastosowaniu opracowanego na WWiG programu numerycznego RheoSolution

2. STANOWISKO BADAWCZE

W celu zbadania wpływu parametrów reologicznych modelu Herschela–Bulkleya na transport urobku w otworach wiertniczych w Laboratorium Zakładu Wiertnictwa i Geoinżynierii WWiG AGH zbudowano stanowisko badawcze jak na rysunku 3.

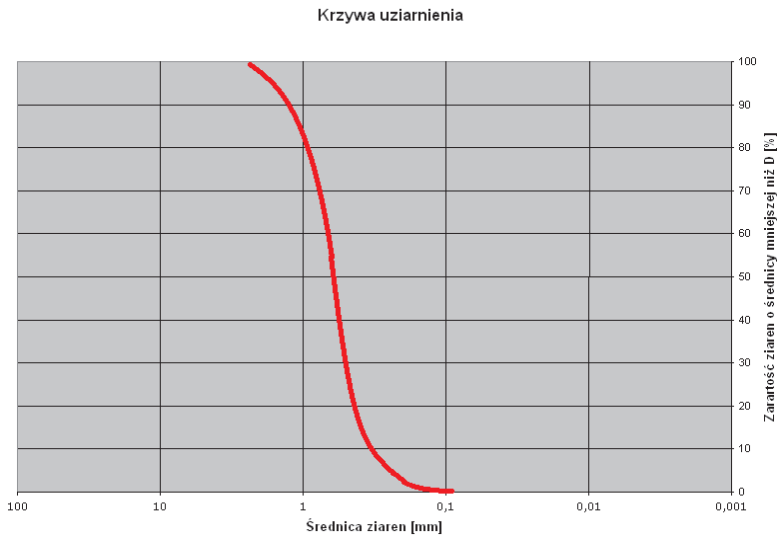
Głównym elementem stanowiska badawczego jest zbiornik sedymentacyjny (1), z którego poprzez otwór następuje wypływ płuczki do zbiornika pompy (2). W zbiorniku pompowym znajduje się wirowa pompa szlamowa (3), która poprzez wąż przetłacza płuczkę do kompensatora ciśnienia (4). Następnie płuczka jest pompowana do przepływomierza (5), gdzie następuje pomiar strumienia objętości płuczki. Z przepływomierza płuczka płynie do kolektora rozdzielającego jej przepływ do rur oznaczonych symbolami (6), (7), (8). Na rurach znajdują się punkty pomiaru ciśnienia połączone z czujnikami (11). Czujniki (11) oraz przepływomierz są połączone z komputerem (12), gdzie następuje rejestracja danych z czujników. Stanowisko to bowiem wykorzystywane może być również do wyznaczania współczynnika Fanninga strat na tarcie płynów wiertniczych. W przeprowadzanych badaniach wpływu parametrów reologicznych na zdolność utrzymywania zwiercin w płuczce wiertniczej wykorzystywano jedynie rurę oznaczoną symbolem (8). Rura ta poprzez wąż prowadzi płuczkę do dyszy (9), której zadaniem jest spowodowanie centrycznego rozprywu płuczki w zbiorniku wypływowym (10). Płuczka w zbiorniku wypływowym wytraca prędkość (aby nie mieszać osadów w zbiorniku sedymentacyjnym), a następnie przepływa z niego do zbiornika sedymentacyjnego (1). Duża powierzchnia zbiornika sedymentacyjnego sprzyja osadzeniu zwiercin.



Rys. 3. Stanowisko badawcze: 1 – zbiornik sedymentacyjny; 2 – zbiornik pompy; 3 – wirowa pompa szlamowa; 4 – kompensator ciśnienia; 5 – przepływomierz; 6, 7, 8 – rury płuczkowe; 9 – dysza wypływowa; 10 – zbiornik wypływowy; 11 – czujniki ciśnienia; 12 – komputer

3. METODYKA BADAŃ

Istota prowadzenia pomiarów polegała na pomiarze spadku koncentracji unoszonej fazy stałej – piasku (o granulacji jak na rys. 4).



Rys. 4. Krzywa uziarnienia materiału symulującego zwierciny

Faza stała na początku badania została dokładnie wymieszana z płuczką, a następnie w ściśle określonych przedziałach czasowych następował pomiar spadku jej koncentracji w roztworze. Próbkę płynu pobierano ze zbiornika pompowego. Badanie było przeprowadzone dla różnych wartości natężenia przepływu i dla różnych wartości parametrów reologicznych.

Pomiar koncentracji fazy stałej wykonywano dwojako: poprzez pomiar gęstości płynącej zawiesiny (co jednak niedawało dostatecznej dokładności wyników badań) oraz poprzez pomiar masy fazy stałej pozostałej na sicie o średnicy oczka 0,12 mm, po przepuszczeniu przez nie określonej ilości badanej płuczki.

W tabeli 1 podano skład płuczek użytych podczas poszczególnych pomiarów. W badaniach wykorzystano dwa typy bentonitu – Swell Gel, który jest wykorzystywany powszechnie w przewiertach horyzontalnych.

Tabela 1
Skład płuczek użytych podczas badań

Płuczki rodzaju A – sporządzane na bentonicie Swell Gel – typ 1			
Nr płuczki	Stężenie procentowe	Stężenie procentowe piasku	Gęstość początkowa [kg/m ³]
1	4,0	2,50	1032
2	3,7	2,50	1031
3	3,5	2,50	1030
Płuczki rodzaju B – sporządzane na bentonicie Swell Gel – typ 2			
4	3,6	2,50	1029
5	3,3	2,50	1025
6	3,0	2,50	1021

4. WYNIKI BADAŃ

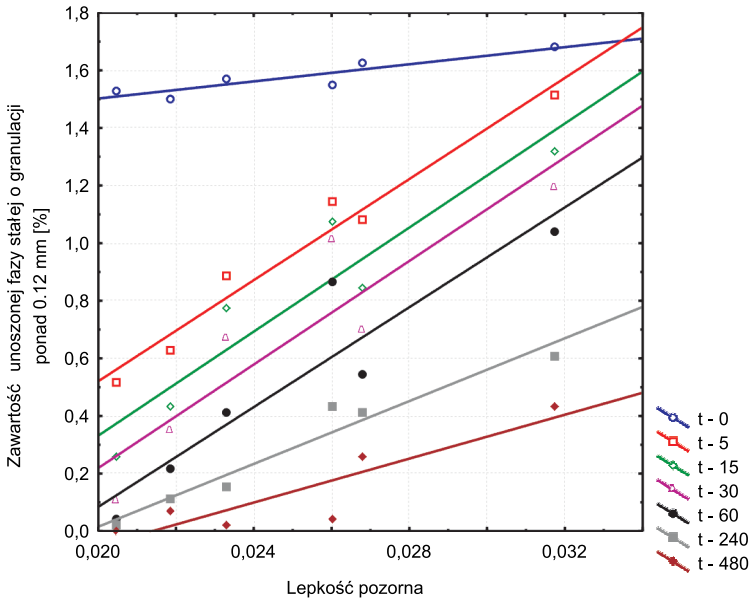
Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono zależność pomiędzy poszczególnymi parametrami reologicznymi modelu Herschela–Bulkleya (τ_y , k , n) a szybkością sedimentacji fazy stałej. Nie udało się jednak ustalić związków ilościowych na zadowalającym poziomie ufności. W toku badań wyznaczono związek pomiędzy ilością unoszonej fazy stałej a lepkością pozorną w przewodzie doprowadzającym płuczkę do zbiornika sedimentacyjnego. Lepkość pozorną wyznaczono z następującego wzoru:

$$\mu_p = \frac{\tau_y}{\dot{\gamma}} + k \cdot \dot{\gamma}^{n-1} \quad [\text{Pa} \cdot \text{s}] \quad (2)$$

Zaś szybkość ścinania płynu w przewodzie doprowadzającym wyznaczono z poniższego wzoru:

$$\dot{\gamma} = \frac{32 \cdot Q}{\pi \cdot d^3} \quad [\text{s}^{-1}] \quad (3)$$

Wyniki obliczeń zestawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Wykres regresji liniowej zawartości fazy stałej o granulacji ponad 0,12 mm w funkcji lepkości pozornej

Analizując zależności przedstawione na rysunku 5, należy stwierdzić, że między lepkością pozorną a ilością unoszonej fazy stałej istnieje zauważalna zależność. Prosta regresji odznacza się wysokim współczynnikiem korelacji na poziomie $0,8679 \div 0,9839$.

5. PODSUMOWANIE

Spośród czynników wpływających na opadanie zwiercin w przepływającej płuczce wiertniczej zbadano wpływ parametrów reologicznych, gęstości i strumienia objętości przepływu.

Otrzymane wyniki nie pozwoliły na otrzymanie równań opisujących wpływ parametrów reologicznych modelu Herschela– Bulkeya na opadanie zwiercin w warunkach rzeczywistych, a dały jedynie ogólny pogląd, jak parametry te wpływają na badane zjawisko.

Wyznaczone zależności wpływu lepkości pozornej na możliwości unoszenia fazy stałej w płuczce powinny być wykorzystywane podczas wykonywania przewiertów horyzontalnych z zastosowaniem płuczek na bazie bentonitów typu Swell Gel.

W trakcie dalszych prac badawczych zbadać należy wpływ na opadanie zwiercin, parametrów reologicznych modelu Herschela–Bulkleya wyznaczonych osobno dla niskich (LSRV) i wysokich (HSRV) szybkości ścinania.

SPIS OZNACZEŃ

- τ – naprężenia styczne [Pa]
- τ_y – granica płynięcia [Pa]
- $\dot{\gamma}$ – szybkość ścinania [1/s]
- k – współczynnik konsystencji [$\text{Pa}\cdot\text{s}^n$]
- n – wykładnik potęgowy [–]
- μ_p – lepkość pozorna [$\text{Pa}\cdot\text{s}$]
- Q – strumień objętości płuczki [m^3/s]
- d – średnica przewodu [m]

LITERATURA

- [1] Adari R.B., Miska S., Kuru E., Bern P., Saasen A.: *Selecting Drilling Fluid Properties and Flow Rates For Effective Hole Cleaning in High–Angle and Horizontal Wells*. SPE Paper 63050 – 2000
- [2] Bizant M.S., Alkafeef S.F.: *A Simplified Hole Cleaning Solution to Deviated and Horizontal Wells*. Paper SPE 81412 – 2003
- [3] Bourgoyne A.T., Milheim K.K., Cheneveret M.E., Young F.S.: *Applied Drilling Engineering*. Society of Petroleum Engineers, Richardson, TX 1991
- [4] Bradley W.B. i inii: *Task Force Approach to Reducing Stuck Pipe Cost*. Paper SPE 21999 zaprezentowany w Amsterdamie, 1991
- [5] Kowal A.L., Świdarska-Bróż M.: *Oczyszczanie wody*. PWN Warszawa – Wrocław 1996
- [6] Larsen T.I., Pilehvari A.A., Azar J.J.: *Development of a New Cuttings–Transport Model for High–Angle Wellbores Including Horizontal Wells*. Paper SPE 25872 – 1997
- [7] Larsen T.I., Pilehvari A.A., Azar J.J.: *Development of a New Cuttings–Transport Model for High–Angle Wellbores Including Horizontal Wells*. Paper SPE 25872 – 1997
- [8] Stokes G.G.: *Mathematical and Physical Papers*. University Press, Cambridge 1880 – 1905
- [9] Wiśniowski R.: *Metodyka określania modelu reologicznego cieczy wiertniczej*. *Wiertnictwo Nafta Gaz (rocznik AGH)*, 18/1, 2001