



MINISTERSTWO EDUKACJI
NARODOWEJ



Artur Wójcikowski

Wykonywanie pomiarów płuczki wiertniczej i specjalnej 311[40].Z2.03

Poradnik dla ucznia

Wydawca
Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy
Radom 2007

Recenzenci:

dr inż. Małgorzata Uliasz
prof. dr hab. Tadeusz Słomka

Opracowanie redakcyjne:

mgr inż. Artur Wójcikowski

Konsultacja:

mgr inż. Danuta Pawełczyk

Poradnik stanowi obudowę dydaktyczną programu jednostki modułowej 311[40].Z2.03 „Wykonywanie pomiarów płuczki wiertniczej i specjalnej”, zawartego w modułowym programie nauczania dla zawodu technik wiertnik.

Wydawca

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2007

SPIS TREŚCI

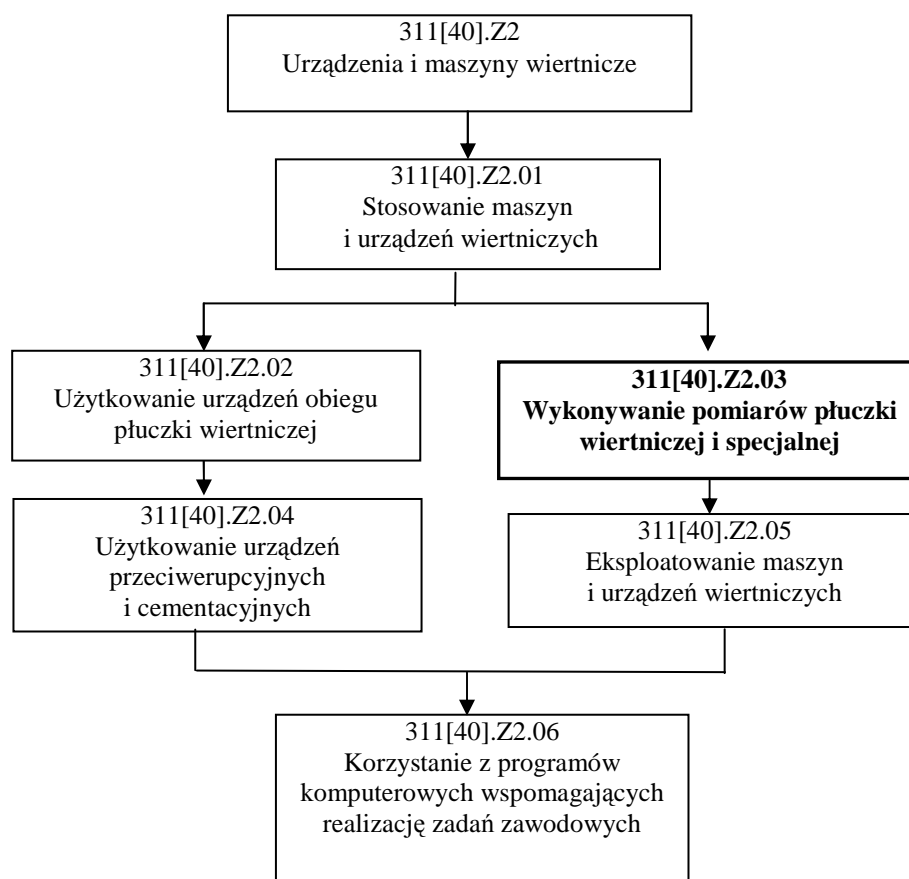
1. Wprowadzenie	3
2. Wymagania wstępne	4
3. Cele kształcenia	5
4. Materiał nauczania	6
4.1. Główne parametry płuczek wiertniczych	6
4.1.1. Materiał nauczania	6
4.1.2. Pytania sprawdzające	18
4.1.3. Ćwiczenia	19
4.1.4. Sprawdzian postępów	21
4.2. Podstawy reologii płuczek i hydrauliki otworowej	22
4.2.1. Materiał nauczania	22
4.2.2. Pytania sprawdzające	30
4.2.3. Ćwiczenia	31
4.2.4. Sprawdzian postępów	32
5. Sprawdzian osiągnięć	33
6. Literatura	38

1. WPROWADZENIE

Poradnik będzie Ci pomocny w przyswajaniu wiedzy o pomiarach podstawowych parametrów płuczek wiertniczych, ich regulowaniu w różnorodnych warunkach geologicznych. Zamieszczono też charakterystykę elementów systemów płuczkowych.

W poradniku znajdziesz:

- wymagania wstępne – wykaz umiejętności, jakie powinieneś mieć już ukształtowane, abyś bez problemów mógł korzystać z poradnika,
- cele kształcenia – wykaz umiejętności, jakie ukształtujesz podczas pracy z poradnikiem,
- materiał nauczania – wiadomości teoretyczne niezbędne do opanowania treści jednostki modułowej,
- zestaw pytań, abyś mógł sprawdzić, czy już opanowałeś określone treści,
- ćwiczenia, które pomogą Ci zweryfikować wiadomości teoretyczne oraz ukształtować umiejętności praktyczne,
- sprawdzian postępów,
- sprawdzian osiągnięć, przykładowy zestaw zadań. Zaliczenie testu potwierdzi opanowanie materiału całej jednostki modułowej,
- literaturę.



Schemat układu jednostek modułowych

2. WYMAGANIA WSTĘPNE

Przystępując do realizacji programu jednostki modułowej uczeń powinien umieć:

- stosować jednostki układu SI,
- przeliczać jednostki,
- posługiwać się podstawowymi pojęciami z zakresu chemii, hydrostatyki mechaniki płynów, podstaw budowy maszyn,
- rozróżniać podstawowe wielkości hydrauliki, i jej jednostki,
- odczytywać i rozpoznawać proste schematy i rysunki techniczne,
- charakteryzować wymagania dotyczące bezpieczeństwa pracy przy urządzeniach, mechanicznych i pod ciśnieniem, oraz pracy w laboratorium chemicznym,
- wyjaśniać działanie prostych układów hydraulicznych na podstawie ich schematów,
- korzystać z różnych źródeł informacji,
- obsługiwać komputer,
- współpracować w grupie.

3. CELE KSZTAŁCENIA

W wyniku realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- przygotować stanowisko do badań i pomiarów wielkości fizycznych płuczek,
- pobrać i przygotować próbki do badań,
- określić właściwości fizyczne cieczy i ciał stałych,
- dokonać pomiaru temperatury, ciśnienia, gęstości i lepkości ciał stałych i cieczy,
- określić skład płuczki ilowej,
- wykonać pomiary reologiczne płuczki ilowej,
- określić skład płuczek specjalnych,
- scharakteryzować właściwości płuczki wiertniczej,
- wykonać pomiary podstawowych właściwości płuczki,
- zmienić parametry płuczki poprzez dodanie materiałów i odczynników chemicznych,
- wykonać pomiar wytrzymałości płuczek,
- scharakteryzować metody oznaczania parametrów płuczki wiertniczej,
- scharakteryzować parametry systemu krążenia płuczki,
- zastosować przepisy bezpieczeństwa i higieny pracy, ochrony przeciwpożarowej oraz ochrony środowiska podczas wykonywania pomiarów płuczki wiertniczej.

4. MATERIAŁ NAUCZANIA

4.1. Główne parametry płuczek wiertniczych

4.1.1. Materiał nauczania

Znajomość parametrów płuczek wiertniczych i sposobów ich oznaczania ma podstawowe znaczenie dla prawidłowego przebiegu wiercenia. Właściwości płuczek wiertniczych decydują o stabilności ścian otworów wiertniczych oraz o skuteczności ochrony strefy przyotworowej poziomów skał zbiornikowych. Najczęściej oznaczanymi parametrami płuczek wiertniczych są: gęstość, właściwości reologiczne (lepkość pozorna, lepkość plastyczna, granica płynięcia, wytrzymałość strukturalna), filtracja, grubość osadu filtracyjnego oraz pH (tab. 1). W miarę potrzeb wykonuje się inne pomiary jak: oznaczanie zawartości fazy stałej i ciekłej, oznaczenie aktywnych części bentonitu oraz oznaczanie pierwiastków i związków w płuczkach wiertniczych i filtratach metodami chemicznymi (tab. 2). Procedury oznaczania pierwiastków i związków chemicznych są niekiedy złożone i wymagają specjalistycznej aparatury do wykonywania analiz. Metodyki badawcze podawane są zazwyczaj w poradnikach płuczkiowego lub w wewnętrznych instrukcjach opracowywanych w firmach serwisowych.

Tabela 1 Zestawienie podstawowych parametrów płuczki wiertniczej i przyrządów do ich pomiaru [1, s. 14]

Lp.	Parametr	Przyrząd	Jednostki	Uwagi	
1.	Gęstość	Waga Baroid	kg/m ³		
2.	Lepkość	umowna	Lejek Marsha	s	1500/1000 woda = 27 s/1000 ml
		plastyczna	Lepkościomierz obrotowy typu Fann	$\eta_p = \Theta 600 - \Theta 300, \text{ mPas}$	
		pozorna		$\eta_a = \Theta 600/2 \text{ mPas}$	
3.	Granica płynięcia		$Y_P = 0,4788(\Theta 300 - \eta_p), \text{ Pa}$		
4.	Wytrzymałość strukturalna	Lepkościomierz obrotowy typu Fann Szirometr	$I = (\text{po } 10 \text{ s przy } \Theta 3) 0,479, \text{ Pa}$ $II = (\text{po } 10 \text{ min przy } \Theta 3) 0,479, \text{ Pa}$ $I: 10'' \quad II: 10' \text{ skala } 1,5 - 30 \text{ N/m}^2$ $1,5 - 30 \text{ N/m}^2; 3 - 60 \text{ lb/100 ft}^2$		
5.	spurt loss standard Filtracja	Standardowa prasa filtracyjna	cm ³ /30 min/0,7 MPa		
		Wysokociśnieniowa wysokotemperaturowa prasa filtracyjna	cm ³ /30 min przy podwyższonej temperaturze i/lub podwyższonym ciśnieniu		
6.	Grubość osadu filtracyjnego	Aparat do pomiaru grubości osadu filtracyjnego	mm		
7.	Zawartość piasku	Przyrząd do pomiaru zawartości piasku	% zawartość piasku		
8.	Zawartość fazy stałej	Retorta typu Fann Ministill	% zawartość fazy stałej		
9.	Stężenie jonów wodorowych (pH)	Metoda kolorymetryczna	1 - 14	paski pomiarowe	
		Metoda potencjometryczna	1 - 14	elektroda pomiarowa	

Tabela 2 Zestawienie podstawowych oznaczeń analitycznych płuczki wiertniczej [1, s.16]

Lp.	Parametr	Jednostki
1.	Oznaczenie aktywnych części bentonitu	CEC = ml błękitu metylenowego/ml płuczki; Zawartość aktywnych części bentonitu, $\text{kg/m}^3 = \text{CEC} \times 14$; Zdolność wymiany kationowej dla łupków, milirównoważników/100g łupków = ml 0,01N błękitu metylenowego/g miareczkowanych łupków
2	Oznaczenie zawartości jonów Cl^-	mg/l
3	Oznaczenie zawartości jonów K^+	mg/l
4	Oznaczenie zawartości jonów Ca^{2+}	mg/l
5	Oznaczenie zawartości jonów Mg^{2+}	mg/l
6	Oznaczenie zawartości gipsu (jonów SO_4^{2-})	mg/l
7	Oznaczenie zawartości PHPA	mg/l
8	Oznaczenie zawartości H_2S	mg/l
9	Oznaczenie alkaliczności	Ilość ml 0,02 n H_2SO_4

Wykonywanie podstawowych pomiarów płuczek wiertniczych

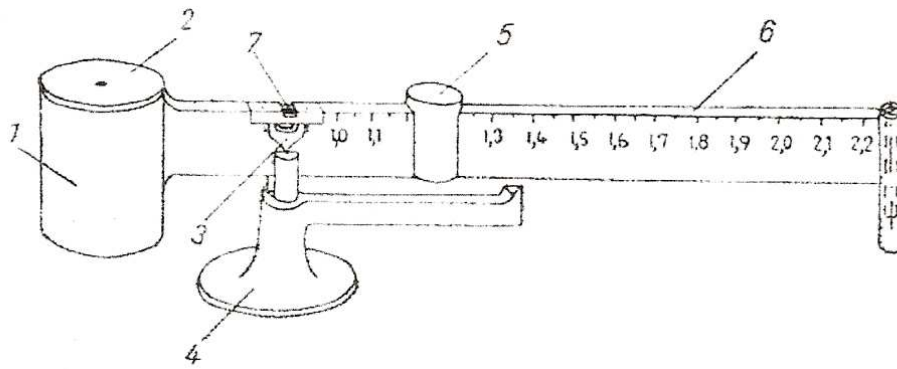
Praktycznie wszelkie prace związane z wierceniem otworów wiertniczych, rekonstrukcją, czy likwidacją odwiertów wymagają zastosowania płynu wiertniczego (płuczki, solanki, wody). Ponieważ „Poradnik inżyniera wiertnika” pisany jest dla szerokiego grona inżynierów nie tylko specjalistów płuczkowych, dlatego celem tego rozdziału jest przybliżenie procedur wykonania podstawowych pomiarów płynu wiertniczego, które to w razie potrzeby mogliby samodzielnie wykonać specjaliści wiertnicy bez konieczności angażowania inżyniera płuczkowego. Rozdział ten powstał na podstawie Normy Branżowej BN-90/1785-01. Opisanie podstawowe pomiary płynu wiertniczego mogą wykonywać osoby niepracujące w serwisie płuczkowym. Pozostałe nie wymienione procedury zamieszczone są w poradnikach płuczkowych, przy których wykonaniu i interpretacji wyników wymagane jest doświadczenie laboratoryjne.

Przed przystąpieniem do wykonania pomiaru należy sprawdzić czy sprzęt pomiarowy i szkło laboratoryjne jest czyste i suche oraz przed wykonaniem pomiaru należy zapoznać się z instrukcją stanowiskową. Po wykonaniu pomiaru należy umyć sprzęt pomiarowy i szkło laboratoryjne.

Pomiary parametrów technologicznych

Oznaczanie gęstości płuczki wiertniczej

Pomiar gęstości płuczki wiertniczej wykonujemy przy pomocy wagi płuczkowej typu Baroid [rys. 1]. Waga ta składa się z ramienia, gdzie z jednej strony znajduje się naczynie na płuczkę z pokrywką, a z drugiej strony pojemnik kalibracyjny na śrut. Ramię wagi jest zaopatrzone w przesuwany ciężarek i jest wyskalowane najczęściej w g/cm^3 w przedziale 0,8–2,75 i w funtach na galon (lbs/gal) w przedziale 6,5–23.



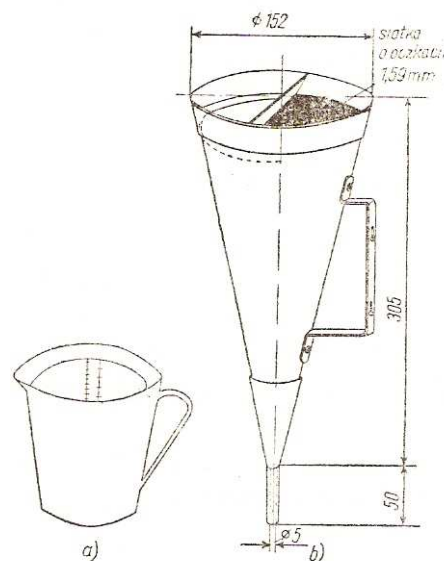
Rys. 1. Waga Baroid: 1 – zbiorniczek na płuczkę, 2 – pokrywka z otworem, 3 – jarzmo, 4 – podstawka, 5 – odważnik ruchomy, 6 – skala wagi, 7 – poziomica [2, s. 220]

Przy pomiarze należy zwrócić uwagę na spienienie płynu wiertniczego, który przed pomiarem należy odgazować przez długotrwałe delikatne mieszanie lub przez dodanie środka przeciwpianego.

Należy również sprawdzić wagę używając wodę (najlepiej destylowana), która jest wzorcem uniwersalnym w temperaturze $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$. W tym celu należy napełnić pojemnik wodą i ustawić ciężarek na $1,00 \text{ g/cm}^3$; jeżeli waga wskazuje gęstość różną od $1,00 \text{ g/cm}^3$ należy dodać lub usunąć śrut ołowiany z pojemnika kalibracyjnego. Sprawdzenia poprawności pomiarów gęstości należy dokonywać okresowo w zależności od potrzeb.

Oznaczanie lepkości umownej płuczki wiertniczej

Pomiaru lepkości umownej płynu wiertniczego dokonuje się przy pomocy lejka Marsha [rys. 2]. Pomiar polega na mierzeniu czasu wypływu 1000 cm^3 płynu wiertniczego.



Rys. 2. Lejek Marsha (b) oraz naczynie pomiarowe (a) [2, s. 222]

Pomiar lepkości przy pomocy lejka Marsha ma bardzo ogólne znaczenie praktyczne. Na podstawie zmiany czasu wypływu płynu możemy wnioskować (na przykład), że:

- nastąpił rozkład materiałów płuczkowych, przez co skrócił się czas wypływu płynu,
- nastąpił wzrost zawartości fazy stałej (zwłaszcza ilastej, „wrażliwej” na uwodnienie), przez co wydłużył się czas wypływu płynu.

Przed wykonaniem ćwiczenia należy sprawdzić lejek Marsha poprzez zmierzenie czasu wypływu wody (może być bieżąca), analogicznie jak przy pomiarze płuczki wiertniczej. Czas wypływu z lejka Marsha 1000 cm^3 wody o temperaturze $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ powinien wynieść $27 \pm 1 \text{ s}$.

Znacznie dokładniejszą metodą sprawdzania lepkości płynu wiertniczego jest pomiar z użyciem lepkościomierza typu Fann.

Oznaczanie parametrów reologicznych płuczki wiertniczej przy pomocy lepkościomierza typu Fann

Pomiaru parametrów reologicznych płynu wiertniczego dokonujemy przy pomocy lepkościomierza (wiskozymetru) typu Fann o dwóch (600 i 300 obr/min) lub sześciu (600, 300, 200, 100, 6 i 3 obr/min) zakresach prędkości obrotowych. Pomiar polega na mierzeniu wielkości skrzywienia sprężyny w układzie dwóch cylindrów, z których cylinder zewnętrzny (rotor) jest obracany ze stałą prędkością obrotową. W trakcie obrotu cylinder zewnętrzny wytwarza moment, który przekazywany jest do cylindra wewnętrznego (boba).

Wykonanie pomiaru parametrów reologicznych płuczki wiertniczej

Po założeniu cylindra wewnętrznego (bob) i przykręceniu cylindra zewnętrznego (rotor) do pojemnika należy wlać płyn do zaznaczonej kreski. Następnie wprowadza się do pojemnika z płynem cylinder zewnętrzny (rotor) z cylindrem wewnętrznym (bobem) do zaznaczonej kreski na rotorze. Po włączeniu przyrządu przy przekładni nastawionej na 600 obr/min, i odczekaniu aż ustabilizuje się wskazanie, należy zapisać wartość wychylenia. Kolejne czynności polegają na odczytaniu wskazań wychylenia przy następnych prędkościach. Zmiany przełożenia przekładni dokonujemy tylko podczas pracy silnika.

W czasie pomiarów uzyskuje się następujące wyniki:

- lepkość pozorną $\eta_p = \frac{M_{600}}{2}$ [cP] lub [mPa*s]
- lepkość plastyczną $\eta = M_{600} - M_{300}$ [cP] lub [mPa*s]
- granicę płynięcia $\tau_y = M_{300} - \eta$ [cP] $\tau_y = M_{300} - \eta * 0,48$ [Pa]

Podczas wykonania pomiaru **wytrzymałości strukturalnej („żeli”) płynu wiertniczego** przy pomocy lepkościomierza typu Fann o 6 zakresach prędkości obrotowej należy wymieszać próbkę przy prędkości 600 obr/min przez ok. 15 sekund, następnie delikatnie przełączyć przekładnię na 3 obr/min, wyłączyć silnik i odczekać 10 sekund, a następnie ponownie włączyć silnik i zarejestrować maksymalne wychylenie jako pierwszą **wytrzymałość strukturalną po 10 sekundach**. Wytrzymałość strukturalną po 10 minutach otrzymujemy po odczekaniu 10 minut, włączeniu 3 obr/min i zarejestrowaniu maksymalnego wychylenia.

Odczytane wartości wyrażone są w [lb/100 ft²]; aby otrzymać wartości w [Pa] należy pomnożyć je przez 0,48

Pomiaru wytrzymałości możemy dokonać przy pomocy lepkościomierza o dwóch zakresach obrotów, pomiar ten wykonuje się ręcznie przez obrócenie gałki o ½ obrotu, ale uzyskanie 3 obrotów rotora wymaga bardzo dużej wprawy. W takim przypadku wytrzymałości strukturalnej możemy dokonać przy pomocy szrometru.

Po zakończeniu pomiaru, cylindry należy przepłukać wodą włączając wysokie obroty przyrządu, a następnie odkręcić rotor i delikatnie zdjąć cylinder wewnętrzny (bob) i wytrzeć do sucha papierem lub szmatką.

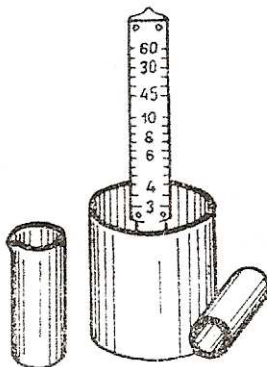
Sprawdzanie lepkościomierza Fann

Sprawdzenia poprawności wskazań lepkościomierza Fann dokonujemy przy pomocy specjalnych płynów (olej silikonowy). Sprawdzenia należy dokonywać okresowo w zależności od intensywności eksploatacji lepkościomierza.

Pomiaru wytrzymałości strukturalnej dokonujemy również szirometrem, który składa się z naczynia cylindrycznego z przymocowaną listwą wyskalowaną w N/m^2 i w $lb/100ft^2$ oraz dwóch duraluminiowych cylindrów o masie 5 g.

Wykonanie pomiaru szirometrem

Do czystego i suchego naczynia cylindrycznego (rys. 3) wlać wymieszaną płuczkę, następnie na listwę z podziałką nałożyć duraluminiowy cylinder tak, aby krawędź cylindra dotykała powierzchni płuczki. Puścić cylinder, odczytać wartość pierwszej wytrzymałości strukturalnej wskazaną przez górną krawędź cylindra. Wyjąć cylinder, pozostawić płuczkę w bezruchu na 10 minut. Po tym czasie nałożyć drugi cylinder analogicznie jak pierwszy i puścić cylinder umożliwiając mu swobodnie opaść, odczytać wartość drugiej wytrzymałości strukturalnej. Po zakończeniu pomiaru przyrząd należy umyć i wysuszyć.



Rys. 3. Szirometr wraz cylindrem duraluminiowym [2, s. 222]

Pomiar wytrzymałości strukturalnej przy pomocy szirometru należy wykonywać w przypadku braku możliwości wykonania pomiaru lepkościomierzem Fann.

Należy zauważyć, że wielkość wytrzymałości strukturalnej mierzona opisanymi dwoma sposobami nie jest porównywalna.

Oznaczanie zawartości fazy stałej w płuczce wiertniczej

Pomiar wykonujemy przy pomocy retorty elektrycznej o pojemności naczynka 10 ml lub 50 ml, a polega on na oddestylowaniu wody z płynu wiertniczego.

Górną część retorty (przestrzeń nad naczynkiem) należy wypełnić watą metalową. Naczynko retorty napełnić świeżo wymieszanim, odpowietrzonym płynem wiertniczym do pełna (10 ml), nałożyć pokrywę i obtrzeć ją z nadmiaru płynu wypływającej przez otwór w pokrywie. Połączyć naczynko z górną częścią retorty, a następnie z chłodnicą. Umieścić retortę w komorze grzejnej, a pod wylot chłodnicy postawić cylinder pomiarowy pojemności 10 ml. Zamknąć pokrywę izolacyjną i włączyć zasilanie elektryczne. Włączenie zasilania sygnalizuje lampka kontrolna. Zgaśnięcie lampki kontrolnej świadczy o zakończeniu destylacji. Następnie należy odczekać ok. 3 min i odczytać objętość oddestylowanej wody i ewentualnie oleju w cylindrze pomiarowym z dokładnością do 0,1 ml.

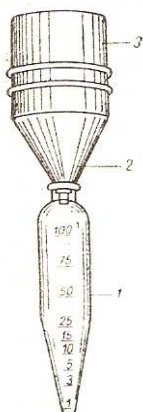
Odczytana wartość objętości wody i oleju, pomnożona przez 10 stanowi ich procentową zawartość w płuczce. Zawartość fazy stałej należy wyliczyć przez odjęcie procentowej zawartości wody i oleju od 100%.

Przed przykręceniem pojemnika z płynem z górną częścią retorty należy przesmarować gwint smarem dołączonym przyrządu do Retort Kit, ponieważ w innym przypadku dojdzie do zgrzania gwintu.

Identycznie wykonujemy pomiar retortą o pojemności naczynka 50 ml, a odczytaną wartość objętości wody i oleju mnożymy przez 2, co stanowi ich procentową zawartość w płuczce.

Oznaczanie zawartości piasku w płynie wiertniczym

Pomiaru dokonuje się przy wykorzystaniu specjalnego naczynka (rys. 4) pozwalającego określić procentowo zawartość piasku.



Rys. 4. Przyrząd do oznaczania zawartości piasku w płuczce wiertniczej [2, s. 224]

Aby wykonać oznaczenie zawartości piasku w płuczce wiertniczej należy napełnić menzurkę płynem wiertniczym do kreski z napisem mud to here, a następnie uzupełnić menzurkę wodą do kreski z napisem water to here, zatkać menzurkę dłonią i mocno wymieszać (w wypadku braku napisów wlać 20 ml płynu wiertniczego i dopełnić wodą do 100 ml). Zawartość przelać na sitko, menzurkę przepłukać wodą (aż będzie czysta), którą należy przelać na sitko, następnie przepłukać piasek na sitku w celu usunięcia resztek płynu wiertniczego. Nałożyć od góry lejek na sitko, następnie na wylot lejka nałożyć menzurkę i obrócić. Na odwrócone sitko skierować strumień wody w celu wypłukania piasku.

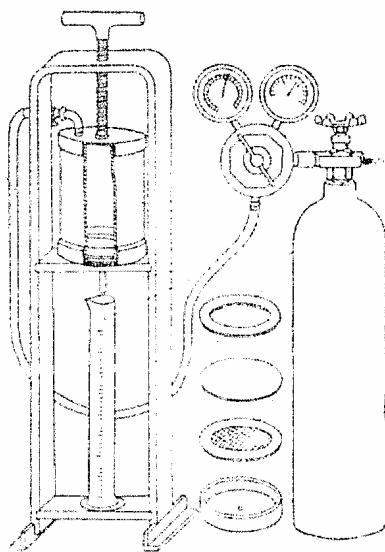
Należy poczekać, aż opadnie piasek na dno menzurki, a następnie odczytać procentową zawartość piasku w płuczce (w wypadku braku oznaczenia w [%] otrzymany wynik należy pomnożyć przez 5, uzyskuje się w ten sposób zawartość piasku w [%]).

Po zakończeniu pomiaru naczynko należy dokładnie umyć.

Należy pamiętać, że piasek jest materiałem bardzo abrazyjnym i duża zawartość piasku w płuczce może spowodować uszkodzenie elementów systemu płuczkowego.

Określenie filtracji w warunkach niskiej temperatury i niskiego ciśnienia

Pomiaru dokonuje się w prasie filtracyjnej API (rys. 5) o średnicy ok. 9 cm (3 1/2") pod ciśnieniem 0,7 MPa.



Rys. 5. Prasa filtracyjna API [2, s.222]

Wykonanie oznaczenia:

Aby przystąpić do wykonania oznaczenia należy upewnić się czy wszystkie elementy prasy filtracyjnej są czyste i suche, a uszczelka nie jest uszkodzona. Następnie na podstawie z gumową uszczelką położyć sitko i bibułę filtracyjną, która musi być sucha, na bibule położyć drugą uszczelkę, a następnie założyć korpus prasy filtracyjnej. Nalać płyn wiertniczy do wysokości około 13 mm (1/2") od górnej krawędzi komory, usunąć ewentualne resztki płynu z krawędzi komory i założyć górną pokrywę; ustawić całość na stelażu i zabezpieczyć śrubą.

Umieścić pod wylotem prasy filtracyjnej cylinder pomiarowy (menzurkę). Za pomocą reduktora wytworzyć ciśnienie 0,7 MPa w czasie nie dłuższym niż 30 sekund, test rozpoczyna się od momentu oddziaływania ciśnienia na płuczkę wiertniczą.

Po 30 minutach zamknąć dopływ gazu i odpuścić ciśnienie z przewodu doprowadzającego.

Wynikiem pomiaru jest objętość filtratu, który należy zachować do dalszych ewentualnych analiz chemicznych.

Zdemontować prasę filtracyjną, wyciągnąć bibułę i dokonać oceny jakościowej i ilościowej osadu filtracyjnego (grubość osadu filtracyjnego, zwięzłość itd.).

Podczas pomiarów należy zwrócić uwagę, by sitko i uszczelki były suche, ponieważ wilgotna bibuła filtracyjna może ulec przerwaniu pod wpływem przyłożonego ciśnienia; wówczas należy powtórzyć pomiar filtracji.

Pomiaru filtracji możemy dokonać także na prasie o średnicy komory pomiarowej ~ 5,5 cm (średnica bibuły 6,35 cm, tj. 2 ½ cala), ale wtedy otrzymaną objętość filtratu należy pomnożyć przez 2.

Oznaczanie pH płynu wiertniczego i jego filtratu

Pomiar pH powinien być wykonany zgodnie z instrukcją producenta pH-metru!

Przed każdym pomiarem elektrodę szklaną należy osuszyć delikatnie bibułą (przy pomiarze pH wykonywanym na małej objętości próbki nie osuszona elektroda może mieć wpływ na pomiar). Po wykonaniu pomiaru natychmiast przepłukać elektrodę wodą destylowaną w celu usunięcia ewentualnych zanieczyszczeń i namoczyć w roztworze do dłuższego przechowywania elektrod, zgodnie zaleceniem producenta. W czasie eksploatacji pH-metru należy postępować zgodnie z uwagami zawartymi w instrukcji obsługi używanego modelu pH-metru!. Kalibracji pH-metru należy dokonywać wyłącznie zgodnie z instrukcją dołączoną do danego modelu pH-metru.

Oznaczanie pH przy pomocy pasków wskaźnikowych

Pomiar wykonujemy przez zanurzenie paska wskaźnikowego w filtracie lub płynie wiertniczym na okres około 10 sekund. Po wyjęciu paska porównujemy jego zabarwienie z zamieszczoną skalą na opakowaniu. Pomiar pH przy pomocy pasków winien być traktowany jako orientacyjny.

Wykonywanie podstawowych analiz chemicznych płuczek wiertniczych

Analizy chemiczne filtratu płynu wiertniczego są bardzo ważnym elementem w kompleksowym sprawdzaniu parametrów płynu wiertniczego. W tej części poradnika zostaną opisane tylko te analizy, których przygotowanie odczynników jest łatwe i sama analiza jest prosta do wykonania. Pozostałe testy chemiczne wymagają odpowiedniego przygotowania odczynników, a wykonanie analizy wymaga pewnego doświadczenia. Szczegółowy opis tych analiz znajduje się w poradnikach inżyniera płuczkowego.

Odczynniki niezbędne do wykonania analiz winny być wcześniej przygotowane w laboratorium chemicznym. Szkło laboratoryjne do badań powinno być czyste i suche!

Oznaczenie koncentracji jonów Cl^- (zasolenie płuczki) w płynie wiertniczym

Przed przystąpieniem do oznaczenia koncentracji jonów Cl^- należy zapoznać się z procedurą wykonania oznaczenia, oraz z kartą charakterystyki substancji niebezpiecznych odczynników używanych do oznaczenia.

Odczynniki:

- 0,1 mol/l AgNO_3 (srebra azotan),
- 5 % roztwór K_2CrO_4 (potasu chromian),
- 0,02n roztwór H_2SO_4 ,
- fenoloftaleina,
- wodorotlenek sodu NaOH ,
- woda destylowana.

Sprzęt laboratoryjny:

- pipeta o pojemności 10 ml (1 lub 2 szt.),
- zlewka lub kolba stożkowa 100–250 ml (1 szt.),
- biureta.

Szkło laboratoryjne do badań powinno być czyste i suche!

Aby wykonać oznaczenie należy:

Pipetą (10 ml) pobrać 1–10 ml filtratu w zależności od przewidywanej koncentracji jonów Cl^- przenieść do zlewki lub kolby stożkowej i uzupełnić wodą destylowaną do 50 ml. Sprawdzić pH roztworu; jeżeli jest poniżej 7 to należy delikatnie podnieść pH powyżej 7 przez dodatek fenoloftaleiny (kilka kropel), a następnie roztworu NaOH do momentu pojawienia się różowego zabarwienia. Następnie dodajemy kilka kropel 0,02 n H_2SO_4 (kwasu siarkowego) do odbarwienia się fenoloftaleiny. W przypadku, gdy pH roztworu jest powyżej 7, należy dodać kilka kropel fenoloftaleiny, roztwór powinien zabarwić się na różowo, a następnie kroplami dodajemy 0,02 n H_2SO_4 (kwas siarkowy) do odbarwienia się roztworu. Dodać kilka kropli 5% roztworu K_2CrO_4 i całość wymieszać. Następnie kroplami dodawać roztwór AgNO_3 , do momentu zmiany barwy z jasno-żółtej do lekko pomarańczowo-czerwonej utrzymującej się nie krócej niż 30 sek.

Uwaga: pod koniec miareczkowania należy ostrożnie dodawać roztwór AgNO_3 ponieważ łatwo można przemiareczkować i w takiej sytuacji analizę należy powtórzyć.

Obliczenie koncentracji jonów Cl^- :

$$X = 3,5453 \cdot v/a \text{ [g/l]}$$

X – koncentracja jonów Cl^- w filtracie w [g/l],

v – ilość ml zużytego roztworu 0,1 m AgNO_3 do miareczkowania,

a – ilość ml filtratu użytego do oznaczenia.

Azotan srebra – AgNO_3 – przechowywać w szczelnej butelce z ciemnego szkła.

Oznaczenie koncentracji jonów Ca^{2+} i Mg^{2+}

Do oznaczenia koncentracji jonów Ca^{2+} używa się odczynników o składzie:

- 0,1 n roztwór wersenianu dwusodowego (EDTA),
 - 20 % roztwór NaOH (wodorotlenek sodu),
 - 30 % roztwór TEA (trietanoloamina),
 - kalces (wskaźnik),
 - woda destylowana,
- oraz sprzęt laboratoryjny:
- pipeta o pojemności 1 ml,
 - pipeta o pojemności 2 ml,
 - pipeta o pojemności 10 ml,

- pipeta o pojemności 25 ml,
- zlewka lub kolba stożkowa o pojemności 100–250 ml,
- biureta.

Aby wykonać oznaczenie należy:

Pipetą pobrać 1–5 ml filtratu płuczkowego i przenieść do zlewki lub kolby stożkowej i rozcieńczyć wodą destylowaną do objętości 25–40 ml. Roztwór dokładnie wymieszać. Dodać około 1,5 ml 20% roztworu NaOH, wymieszać. W drugiej kolejności dodać około 2–5 ml 30% roztworu TEA w celu „zamaskowania” kationów trójwartościowych przeszkadzających w analizie, np. żelaza, glinu, baru itp.. Następnie dodać odrobinę kalcesu (duża porcja kalcesu powoduje intensywne zabarwienie roztworu, które przeszkadza w uchwyceniu końcowego punktu miareczkowania). Czystą i suchą pipetą o pojemności 1, 2 lub 5 ml pobrać roztwór EDTA i powoli miareczkować, intensywnie mieszając zawartością kolby stożkowej lub zlewki. Dodawać roztwór EDTA aż do zmiany zabarwienia na jasno-niebieski.

Obliczenie zawartości jonów Ca^{2+} :

$$X_{\text{Ca}} = 0,4008 \cdot v_1 \cdot 0,1 \cdot 1000/a \text{ [mg/l]}$$

X_{Ca} – koncentracja jonów Ca^{+2} w filtracie [mg/l],

v_1 – ilość ml zużytego 0,1 n EDTA do miareczkowania wobec kalcesu,

a – ilość ml filtratu pobrana do oznaczenia.

Szkło laboratoryjne użyte do analizy powinno być czyste i suche.

Oznaczenie koncentracji jonów Mg^{2+}

Do oznaczenia koncentracji jonów Mg^{2+} używa się odczynników o składzie:

- 0,1 n roztwór wersenianu dwusodowego (EDTA),
 - bufor amonowy o pH =10,
 - 30 % roztwór TEA (trietanoloamina),
 - czerń eriochromowa T (wskaźnik),
 - woda destylowana,
- oraz sprzęt laboratoryjny:
- pipeta o pojemności 1 ml (2 szt.),
 - pipeta o pojemności 2 ml (2 szt.),
 - pipeta o pojemności 10 ml (1 szt.),
 - zlewka lub kolba stożkowa 100 - 250 ml,
 - biureta.

Aby wykonać oznaczenie należy:

Pipetą 1–5 ml filtratu i przenieść do zlewki lub kolby stożkowej i uzupełnić wodą destylowaną do objętości 25–40 ml. Dodać 2,5 ml buforu amonowego do zlewki lub kolby stożkowej i wymieszać. W drugiej kolejności dodać około 2–5 ml roztworu TEA w celu „zamaskowania” kationów trójwartościowych i całość wymieszać. Następnie wprowadzić odrobinę czerni eriochromowej T (zbyt duża porcja czerni powoduje intensywne zabarwienie roztworu, które przeszkadza w uchwyceniu końcowego punktu miareczkowania). Czystą i suchą pipetą o pojemności 1, lub 2 lub 5 ml pobrać roztwór EDTA i wkraplać powoli intensywnie mieszając zawartością kolby stożkowej, aż do zmiany zabarwienia na niebieskie. Obliczenie zawartości jonów Mg^{2+} :

$$X_{\text{Mg}} = 0,2431 \cdot (v_2 - v_1) \cdot 1000/a \text{ [mg/l]}$$

X_{Mg} – zawartość jonów Mg^{2+} w g/l w filtracie

v_1 – ilość ml zużytego 0,1 n EDTA do miareczkowania wobec kalcesu podczas oznaczania jonów Ca^{2+} (patrz p-kt A.),

v_2 – ilość ml zużytego 0,1 n EDTA do miareczkowania wobec czerni eriochromowej T podczas oznaczania sumarycznej zawartości jonów Mg^{2+} i Ca^{2+} ,

a – ilość ml filtratu pobrana do oznaczenia.

Oznaczenie alkaliczności filtratu P_f i M_f

Do oznaczenia alkaliczności filtratu P_f i M_f używa się odczynników o składzie:

- 0,02 normalny H_2SO_4 (kwas siarkowy),
 - 1 % roztwór fenoloftaleiny,
 - 0,1% roztwór oranżu metylenowego,
 - woda destylowana,
- oraz sprzęt laboratoryjny:
- kolba stożkowa 100 - 250 ml,
 - pipeta o pojemności 10 ml lub 25 ml,
 - pipeta o pojemności 5 ml,
 - pipeta o pojemności 1 ml,
 - biureta.

Aby wykonać oznaczenie należy:

Pipetą pobrać 1ml filtratu płuczkowego i wprowadzić do kolby stożkowej, następnie dodać 20 ml wody destylowanej odmierzając tę ilość pipetą o pojemności 10 ml lub 25 ml, całość wymieszać. Wprowadzić kilka kropel fenoloftaleiny. O ile roztwór zabarwi się na kolor malinowy, miareczkować roztworem 0,02 n H_2SO_4 , aż do momentu odbarwienia roztworu.

Zanotować ilość zużytego 0,02 n H_2SO_4 .

Jeżeli roztwór po dodaniu fenoloftaleiny nie zabarwi się na kolor malinowy to oznacza, że alkaliczność $P_f = 0$.

Do odbarwionego roztworu dodać kilka kropli oranżu metylenowego i miareczkować dalej 0,02 n H_2SO_4 , aż do momentu zmiany barwy z pomarańczowej na różową (pH ~ 4,3). Zanotować całkowitą ilość zużytego do miareczkowania 0,02 n H_2SO_4 zarówno wobec fenoloftaleiny, jak i wobec oranżu metylenowego. Objętość roztworu H_2SO_4 zużytego do miareczkowania wobec fenoloftaleiny (do odbarwienia roztworu z barwy malinowej) stanowi wartość P_f .

Suma objętości roztworu H_2SO_4 zużytego do miareczkowania wobec fenoloftaleiny (do odbarwienia roztworu z barwy malinowej) i wobec oranżu metylenowego (do zmiany barwy z pomarańczowej na różową) stanowi wartość M_f .

Szkło laboratoryjne użyte do analizy powinno być bezwzględnie czyste i suche.

Ponieważ zmiana barwy z pomarańczowej na różową może być trudna do uchwycenia, z tego powodu można oranż metylenowy zamienić na 0,1% roztwór zieleni bromokrezolowej (barwa zmienia się z niebieskiej na żółtozieloną (pH ~4,3)) lub na mieszaninę roztworu 0,1% zieleni bromokrezolowej i 0,1% oranżu metylenowego (barwa zmienia się z zielonej na ciemnożółtą (pH ~4,3)).

Znajomość parametrów płuczek wiertniczych i sposobów ich oznaczania ma podstawowe znaczenie dla prawidłowego przebiegu wiercenia. Właściwości płuczek wiertniczych decydują o stabilności ścian otworów wiertniczych oraz o skuteczności ochrony strefy przyotworowej poziomów skał zbiornikowych. Dla zapewnienia stateczności ścian otworów wiertniczych oraz ochrony strefy przyotworowej poziomów zbiornikowych skał powinno się rozszerzyć badania podstawowe o badania specjalistyczne, które wymagają specjalistycznej aparatury do wykonywania analiz.

Badania specjalistyczne

Badania specjalistyczne wykonywane w laboratoriach mają na celu określenie:

- właściwości reologicznych płuczek wiertniczych w warunkach wysokich ciśnień i temperatur;
- pomiar filtracji w warunkach wysokich ciśnień i temperatur oraz depozycji osadu filtracyjnego;
- stopnia uszkodzenia skały zbiornikowej w kontakcie z płuczką wiertniczą;
- badania odzysku przepuszczalności skał zbiornikowych;
- napięć powierzchniowych na granicy faz;
- rozkładu ziarnowego fazy stałej w płuczce wiertniczej;
- smarności płuczek wiertniczych;
- kleistości osadów filtracyjnych;
- cech charakterystycznych iłów dla potrzeb wiertnictwa:
 - pomiar gęstości łupków i skał ilastych;
 - pomiar czasu kapilarnej nasiąkliwości;
 - pomiar stopnia dezintegracji łupków i skał ilastych;
 - pomiar pęcznienia pod wpływem oddziaływania cieczy wiertniczych.

Właściwości reologiczne płuczek wiertniczych badane są za pomocą wiskozymetru Fann 70 HTHP w zakresie temperatur od pokojowej do 260°C i ciśnieniu do 138 MPa.

Pomiar filtracji płuczek wiertniczych wykonywany jest za pomocą wysokociśnieniowej i wysokotemperaturowej prasy filtracyjnej wyposażonej w mieszadło (HTHP Dynamic Filter Press). Dynamiczna prasa filtracyjna HTHP dostosowana jest do wykonywania badań w temperaturach do 260°C, przy ciśnieniach różnicowych do 35 MPa i prędkości obrotowej od 200 do 1700 obr/min. W wyniku badań określone są następujące parametry: wielkość filtracji dynamicznej w czasie oraz wskaźnik depozycji osadu filtracyjnego.

Napięcia powierzchniowe na granicy faz określane są za pomocą specjalistycznego przyrządu pomiarowego w zakresie temperatur od temperatury pokojowej do 95°C. Wynikiem tych pomiarów jest ocena wielkości napięć powierzchniowych pomiędzy filtratem płuczkowym i ropą naftową, filtratem płuczkowym – wodą złożową, filtratem płuczkowym – gazem ziemnym, a także wodą złożową i gazem ziemnym.

Rozkład ziarnowy fazy stałej w płuczkach wiertniczych wykonywany jest przy wykorzystaniu dyfrakcji laserowej. Wynikiem tych badań jest rozkład procentowy poszczególnych frakcji fazy stałej w płuczce

Właściwości smarne płuczek wiertniczych oceniane są za pomocą aparatu do badania wielkości tarcia pomiędzy klockiem i pierścieniem w obecności badanego płynu (Lubricity Tester). Wynikiem pomiarów smarności jest wartość zwana współczynnikiem smarności.

Zalecanymi wartościami są:

- dla płuczek na bazie wodnej < 0,2,
- dla płuczek na bazie olejowej < 0,1.

Kleistość osadu filtracyjnego płuczek wiertniczych określana jest za pomocą przyrządu do pomiaru siły ścinającej na powierzchni kontaktu płytki pomiarowej z osadem filtracyjnym (Sticking Tester). Płytką pomiarową aparatu jest dociskana do osadu filtracyjnego siłą wywołaną przez ciśnienie filtracji, a następnie utrzymywana na skutek oddziaływania sił adhezyjnych pomiędzy powierzchnią kontaktu płytki pomiarowej z osadem filtracyjnym. Potrzebną siłę ścinającą do zerwania kontaktu pomiędzy powierzchnią pomiarową płytki a osadem filtracyjnym mierzy się przy pomocy dynamometru.

Badania cech charakterystycznych łupków i skał ilastych dla potrzeb wiertnictwa.

Problemy związane z przychwytywaniem przewodu wiertniczego, tworzeniem się kawern i pęcznieniem skał mogą wpływać na stabilność ściany otworu wiertniczego. Badania

służące do określania specyficznych właściwości łupków i skał ilastych są realizowane poprzez pomiar niżej opisanych właściwości.

Pomiar gęstości łupków i skał ilastych prowadzi się przy wykorzystaniu urządzeń, których działanie oparte jest na prawie Archimedesesa. Do urządzeń tych zaliczyć należy: gęstościomierz skał ilastych firmy Petron, Microsol firmy Geoservices i wagę Baroid.

Pomiar czasu kapilarnej nasiąkliwości wykonywany aparatem CST (capillary suction timer) polega na pomiarze czasu przesuwania się frontu wolnej wody z badanej zawiesiny pomiędzy dwoma elektrodami na specjalnej bibule filtracyjnej. Wyniki testu przedstawiane są graficznie w postaci zależności czasu kapilarnej nasiąkliwości od typu badanej cieczy. Wartość CST jest wskaźnikiem przepuszczalności osadu filtracyjnego. Wysoka dyspersja cząstek ilastych powoduje powstawanie osadów filtracyjnych o małej przepuszczalności i wysokich wartościach t_{CST} . Wysoka flokulacja cząstek ilastych przyczynia się do powstania osadu filtracyjnego o dużej przepuszczalności i małych wartości t_{CST} . Wyniki badań czasu kapilarnej nasiąkliwości wskazują efekt inhibitowania skał ilastych pod wpływem różnych soli i różnych ich koncentracji na dyspersję łupków.

Pomiar stopnia dezintegracji łupków i skał ilastych wykonuje się w piecu obrotowym. Mierzy się w nim efekt dyspersji łupków i/lub skał ilastych pod wpływem oddziaływania różnych płuczek wiertniczych. Do badań pobiera się próbki łupków, które są przesiewane przez sita 6 mesh i pozostają na sitach 12 mesh. Odważoną próbkę łupka (np. 100 g) wsypuje się do autoklawu, gdzie znajduje się badana płuczka wiertnicza. Następnie autoklaw umieszcza się w piecu obrotowym i obraca się przez okres 16 godzin w temperaturze 65⁰C. Po tym okresie czasu zawartość autoklawu przelewa się przez sito 12 mesh. Pozostałą na sicie próbkę przemywa się, suszy się, a następnie waży. Stosunek masy końcowej do masy początkowej próbki wyraża procentową zawartość łupka, który nie uległ zjawisku dezintegracji. Następnie próbkę końcową ponownie umieszcza się w autoklawie z wodą słodką i obraca się w piecu obrotowym przez okres 2 godzin przy temperaturze 65⁰C. Po okresie tym zawartość autoklawu wylewa się na sito 12 mesh. Pozostałość na sicie suszy się i waży. Stosunek masy pozostałej próbki do masy początkowej próbki wyraża procentową pozostałość łupka, który nie uległ dezintegracji w kontakcie z wodą słodką.

$$P_1 = \left(1 - \frac{m_2}{m_1} \right) \times 100\%$$

$$P_2 = \left(1 - \frac{m_3}{m_1} \right) \times 100\%$$

gdzie:

P_1 – stopień dezintegracji łupków w badanej cieczy wiertniczej [%],

P_2 – stopień dezintegracji łupków w wodzie słodkiej [%],

m_1 – masa próbki łupka pobranego do badań [g],

m_2 – masa pozostałej próbki łupka po kontakcie z cieczą wiertniczą [g],

m_3 – masa pozostałej próbki łupka po kontakcie z wodą słodką [g].

Badanie ciśnienia pęcznienia łupków i skał ilastych pod wpływem oddziaływania cieczy wiertniczych wykonuje się przy pomocy edometru. Specjalnie przygotowaną próbkę skały ilastej lub łupka w postaci „tabletki” umieszcza się w komorze pomiarowej edometru, gdzie ma ona kontakt z badaną cieczą wiertniczą. Wielkość zmian ciśnienia pęcznienia w czasie jest rejestrowana przez komputer.

Badania odzysku przepuszczalności skał zbiornikowych

Pomiar stopnia uszkodzenia skał zbiornikowych pod wpływem oddziaływania cieczy wiertniczych oraz wielkości odzysku przepuszczalności wykonuje się wykorzystując do tego celu wysokociśnieniową i wysokotemperaturową dynamiczną prasę filtracyjną (HTHP Dynamic Filter Press), aparat do oceny blokowania przepuszczalności (PPT – Permeability Plugging Tester) oraz uniwersalny przepuszczalnościomierz (np. firmy Temco Inc.). Aparat do oceny blokowania przepuszczalności jest statyczną odwróconą prasą filtracyjną typu HTHP z ceramicznymi filtrami lub próbkami skały zbiornikowej. Aparat pracuje w zakresie temperatur od pokojowej do 176⁰C, ciśnień różnicowych do 13,7 MPa. Do badań wykorzystuje się próbki wycięte z rdzenia wiertniczego. Badanie stopnia uszkodzenia i odzysku przepuszczalności jest wykorzystywane do oceny wpływu cieczy (płuczki wiertniczej, filtratu płuczkowego, cieczy roboczych lub solanek) na przepuszczalność skały zbiornikowej. Po wyznaczeniu przepuszczalności początkowej próbki (k_i), poddaje się ją działaniu badanych cieczy. Po określonym czasie oddziaływania cieczy, ponownie dokonuje się pomiaru przepuszczalności końcowej (k_k).

Stopień uszkodzenia skały zbiornikowej ocenia się w oparciu o równanie

$$WU = \left(1 - \frac{k_k}{k_i}\right) \times 100 \%$$

Natomiast wielkość odzysku przepuszczalności oblicza się z równania

$$OP = \frac{k_k}{k_i} \times 100\%$$

gdzie:

WU – wskaźnik uszkodzenia skały zbiornikowej, %

OP – odzysk przepuszczalności skały zbiornikowej, %

k_k – przepuszczalność początkowa badanej próbki mD,

k_i – przepuszczalność końcowa, mD

W przypadku badań zmian przepuszczalności dla cieczy odzysk przepuszczalności można przedstawić, jako wykres przepuszczalności w zależności od wydatku przepływu.

4.1.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie są podstawowe parametry fizyczne i chemiczne płuczek wiertniczych?
2. Czy wszystkie parametry fizyczne i chemiczne płuczek wiertniczych można regulować?
3. Na czym polega miareczkowanie?
4. Które jony niemetalu należy kontrolować podczas przewiercania łupków i innych skał ilastych?
5. Do czego służy edometr? O czym mówi uzyskany dzięki niemu, parametr?
6. W jakim celu wykonuje się pomiary wysokociśnieniową wersją pracy filtracyjnej?
7. Do jakich komplikacji w otworze wiertniczym może doprowadzić źle oczyszczona płuczka wiertnicza?

4.1.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Wykonaj pomiar gęstości płuczki wiertniczej za pomocą wagi Baroid.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zorganizować stanowisko do wykonania ćwiczenia,
- 2) sprawdzić wagę używając wodę,
- 3) ustawić podstawę pod wagę płuczkową na równej, poziomej powierzchni,
- 4) napełnić pojemnik płynem wiertniczym, zaczynem cementowym do pełna,
- 5) nałożyć pokrywkę i lekko nią obracając docisnąć, usunąć nadmiar płynu wiertniczego, który powinien wypływać przez otwór w pokrywie,
- 6) przemyć wagę zamykając palcem otwór w pokrywce i wytrzeć do sucha,
- 7) umieścić wagę na podstawie i przesunąć ciężarek na ramieniu do osiągnięcia centralnego położenia powietrza w libelce,
- 8) odczytać gęstość płynu ze skali umieszczonej na ramieniu wagi z dokładnością do $0,01\text{g/cm}^3$,
- 9) umyć i wysuszyć wagę po każdym użyciu, zwłaszcza libelkę,
- 10) przedstawić wyniki ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- waga Baroida,
- płyn wiertniczy, zaczyn cementowy,
- środek przeciwpienny,
- notatnik,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika.

Ćwiczenie 2

Wykonaj pomiar lepkości umownej płuczki wiertniczej za pomocą lejka Marsha.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zorganizować stanowisko do wykonania ćwiczenia,
- 2) przymknąć palcem wylot lejka.
- 3) wlać przez sito świeżo wymieszany płyn, aż lustro płuczki osiągnie poziom siatki ($\sim 1500\text{ cm}^3$),
- 4) uruchomić stoper i zwolnić wylot lejka,
- 5) zmierzyć czas wypłynięcia z lejka 1000 cm^3 płynu do wyskalowanego pojemnika,
- 6) zanotować czas wypływu 1000 cm^3 płynu z lejka, który jest umowną miarą lepkości,
- 7) zaprezentować wyniki ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- lejek Marsha,
- płyn wiertniczy,
- notatnik,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika.

Ćwiczenie 3

Oblicz ilość: bentonitu węgierskiego, bentonitu krajowego przerabianego w Zębcu i iłu sproszkowanego z Chmielnika oraz objętość wody potrzebną do sporządzenia płuczki wiertniczej o objętości $V_{pt} = 80 \text{ m}^3$, przyjmując, że gęstość płuczki przy pozostałych właściwościach odpowiadających wymaganiom normy wynosi odpowiednio: przy bentonicie węgierskim $\rho_{pt} = 1040 \text{ kg/m}^3$, przy bentonicie krajowym $\rho_{pt} = 1070 \text{ kg/m}^3$ i przy stosowaniu iłu sproszkowanego $\rho_{pt} = 1280 \text{ kg/m}^3$. Gęstość materiału ilastego należy przyjąć we wszystkich przypadkach jednakową, tj. $\rho_b = 2600 \text{ kg/m}^3$, a gęstość wody $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) zorganizować stanowisko do wykonania ćwiczenia,
- 2) obliczyć następujące wielkości:
 - objętościowy udział materiału ilastego w 1 m^3 płuczce

$$V_b = \frac{\rho_{pt} - \rho_w}{\rho_b - \rho_w} [m^3],$$

- udział masy bentonitu (iłu) w 1 m^3 płuczki

$$q_b = V_b \rho_b,$$

- objętość wody w 1 m^3 płuczki

$$V_w = 1 - V_b [m^3],$$

- masę bentonitu (iłu) potrzebną do sporządzenia całkowitej objętości płuczki,
- całkowitą objętość wody

$$V_{wc} = V_{pt} V_w,$$

- 3) ocenić jakość każdego z surowców ilastych i wykazać celowość stosowania wysokogatunkowych bentonitów do sporządzania płuczek wiertniczych,
- 4) przedstawić rozwiązanie ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- kalkulator,
- przybory do pisania,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika.

Ćwiczenie 4

Oblicz ilość: kredy mielonej, barytu i galeny do obciążenia 80 m^3 płuczki wiertniczej o gęstości wyjściowej $\rho_1 = 1040 \text{ kg/m}^3$ tak, aby po obciążeniu gęstość płuczki wynosiła $\rho_2 = 1500 \text{ kg/m}^3$. Należy przyjąć, że gęstość kredy mielonej wynosi 2600 kg/m^3 , gęstość barytu 4000 kg/m^3 , gęstość galeny 7200 kg/m^3 , gęstość materiału obciążającego oznaczyć jako ρ_3 . Wykazać efektywność poszczególnych materiałów obciążających w zakresie zwiększenia gęstości płuczki wiertniczej.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) zorganizować stanowisko do wykonania ćwiczenia,
- 2) odszukać w materiałach dydaktycznych odpowiednie określenia,
- 3) obliczyć ilość materiału obciążającego na 1 m^3 płuczki wiertniczej

$$\rho = \frac{\rho_3(\rho_2 - \rho_1)}{\rho_3 - \rho_2}$$

- 4) wykonać pozostałe obliczenia,
- 5) przeanalizować otrzymany wynik,
- 6) przedstawić rozwiązanie ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- papier, flamastry, kalkulator,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika.

4.1.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) określić lepkość płuczki?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) wykonać pomiar gęstości płuczki wiertniczej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) wykonać pomiar lepkości płuczki wiertniczej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) sprawdzić poprawność działania lejka Marsha?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) opisać budowę i zasadę działania lepkościomierza Fann'a?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) opisać wpływ temperatury na wielkość lepkości?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) opisać strukturę wewnętrzną płuczki?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) opisać zadanie wytrzymałości strukturalnej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) wskazać zastosowanie papierków wskaźnikowych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) wyjaśnić, co oznacza EDTA?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11) przygotować składniki płuczki wiertniczej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12) wykonać płuczkę wiertniczą?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.2. Podstawy reologii płuczek i hydrauliki otworowej

4.2.1. Materiał nauczania

Podstawowe modele reologiczne płuczek wiertniczych

Możliwość regulowania parametrów fizycznych płuczki w czasie wiercenia jest niezmiernie ważne, umożliwia to uzyskanie optymalnych warunków wiercenia otworu. Do najważniejszych parametrów reologicznych należy zaliczyć lepkość i wytrzymałość strukturalną. Zmiana ich wartości powoduje między innymi: możliwość utrzymywania zwiercin w stanie zawieszenia przez długi czas podczas awarii i przerw technologicznych, zdolność usuwania zwiercin i późniejsze ich usuwanie na powierzchniowych urządzeniach oczyszczania płuczki, utrzymywanie stabilnego otworu i wyeliminowanie niekorzystnych zjawisk w otworze, informację geologiczną w czasie wiercenia-czyli min dopływ płynów złożowych do otworu. Jak już wcześniej wspomniano parametr lepkości można pomierzyć wykorzystując różne przyrządy, mimo to każdy z nich próbuje przedstawić w lepszym lub gorszym stopniu dokładności lepkość, jako miarę wewnętrznego oporu płynu podczas przepływu w danych warunkach. Ciecze, z którymi mamy do czynienia w czasie wiercenia, są bardzo różnymi cieczami. Jedne z nich spełniają założenia, jakie ustalił Newton (ciecze newtonowskie), inne nie spełniają tych założeń (ciecze nienewtonowskie). W większości przypadków mamy jednak do czynienia z cieczami nienewtonowskimi, których przykładem jest płuczka wiertnicza, będąca zawiesiną koloidalną iłu w wodzie słodkiej lub zasolonej.

Ciecze newtonowskie

Dla należytego zrozumienia rodzajów cieczy i ich przepływów niezbędne jest zapoznanie się z zasadniczymi pojęciami dotyczącymi cieczy newtonowskich i nienewtonowskich. Ciecze newtonowskie spełniają równanie wyprowadzone przez Newtona dla przepływu warstwowego, a mianowicie:

- ciecze nienewtonowskie zwane cieczami binghamowskimi,
- ciecze pseudoplastyczne,
- ciecze przejawiające dylatację.

Wszystkie te ciecze mogą przepływać przez rury dwoma zasadniczymi rodzajami ruchu:

- warstwowym (laminarnym)
- burzliwym (turbulentnym)

Ciecze nienewtonowskie charakteryzują się m.in. tym, że wskutek wzajemnego oddziaływania cząsteczek upodabniają się do ciał plastycznych i występuje w nich wytrzymałość strukturalna. Oznacza to, że muszą wystąpić pewne siły, aby ciecz taka zaczęła płynąć. Siła ta określana jest jako granica płynności lub początkowe naprężenie styczne. Obrazuje to odcinek OA na rysunku 6. Tym samym nie podlegają one równaniu Newtona. Dla ich scharakteryzowania służy wzór wyprowadzony przez Binghamą:

$$F = \mu A \frac{dv}{dy} \quad [\text{wzór 1}]$$

gdzie:

- F – siła tarcia wewnętrznego,
- μ – współczynnik lepkości dynamicznej,
- A – powierzchnia,
- v – prędkość,
- y – odległość (współrzędna kierunkowa),
- dv/dy – gradient prędkości w kierunku y.

Jak wynika ze wzoru, siła tarcia wewnętrznej jest proporcjonalna do powierzchni warstw przesuwających się wzajemnie, gradientu prędkości i współczynnika lepkości dynamicznej. Oprócz dynamicznego współczynnika lepkości spotykamy się również z wielkością zwaną kinematycznym współczynnikiem lepkości, wyrażającym stosunek między lepkością dynamiczną a gęstością cieczy:

$$\vartheta = \frac{\mu}{\rho} \quad [\text{wzór 2}]$$

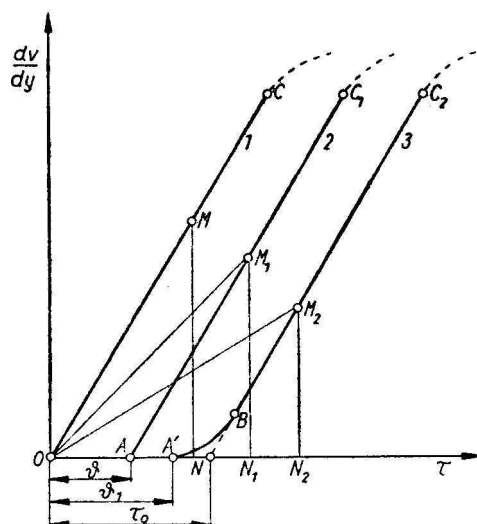
Jeżeli przekształcimy wzór [1] na postać

$$\frac{F}{A} = \mu \frac{dv}{dy}$$

to wielkość F/A jest niczym innym jak naprężeniem stycznym τ , zatem:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad [\text{wzór 3}]$$

Jeżeli funkcję tę przedstawimy w układzie współrzędnych τ i dv/dy , to okaże się, że jest to linia prosta (rys. 1).



Rys. 6. Krzywe płynięcia cieczy 1 – ciecz newtonowska, 2 – ciecz binghamowska, 3 – płuczka rzeczywista [2, s. 173]

Ciecze nienewtonowskie

Dla ich scharakteryzowania służy równanie [wzór 4] Bingham:

$$\tau = \vartheta_y + \eta \frac{dv}{dy} \quad [\text{wzór 4}]$$

gdzie

ϑ_y – statyczne naprężenie styczne (wytrzymałość strukturalna),

η – współczynnik lepkości plastycznej (strukturalnej),

Równanie to można przedstawić w postaci:

$$\frac{dv}{dy} = (\tau - \vartheta_y) \frac{1}{\eta}$$

Oznaczenia jak wyżej, z tym że wskaźnik y oznacza, że mamy do czynienia z cieczą plastyczną. Jeżeli teraz tę zależność naniesiemy na nasz wykres (krzywa 2 odcinek AC_1), to kąt nachylenia krzywej wyniesie φ , a krzywa odcina na osi odciętych $OA = \vartheta$.

Wielkość $1/\vartheta = \eta$ nosi nazwę współczynnika lepkości plastycznej lub strukturalnej. Płuczki rzeczywiste zachowują się nieco odmiennie, a przykładem tego jest krzywa 3 na rys 1. Jest to złożona krzywa, jednakże dla celów praktycznych korzysta się z jej prostoliniowego odcinka BC₂, który można wyrazić równaniem:

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy} + \tau_0 \quad [\text{wzór 5}]$$

Wielkość nazywamy dynamicznym współczynnikiem płynięcia, czasem nazywana granicą płynięcia.

Granica płynięcia jest drugim, oprócz lepkości plastycznej, parametrem wywołującym opór przepływu płuczek wiertniczych. Jest ona miarą elektrochemicznych sił przyciągania występujących w płuczce. Siły te są wynikiem istnienia dodatnich i ujemnych ładunków zlokalizowanych na powierzchni cząstek lub blisko nich. Granica płynięcia jest miarą występowania tych sił podczas przepływu i jest uzależniona od:

- właściwości powierzchni cząstek stałych,
- koncentracji cząstek stałych,
- środowiska elektrycznego fazy stałej (koncentracji i typu jonów w ciekłej fazie płuczki).

Wysoka lepkość spowodowana wysoką granicą płynięcia lub siłami przyciągania jest spowodowana przez:

- wprowadzanie substancji rozpuszczalnych powodujących flokulację i wzrost granicy płynięcia,
- wzrost ilości cząstek rozdrobnionych, działalność świdra, przewodu wiertniczego, obecność cząstek rozdrobnionych powoduje powstawanie dodatkowych sił, mimo, że szczątkowych, to często powodujących łączenie razem cząstek i ponownie flokulację płuczki,
- wprowadzenie wprost do płuczki środków obciążających; następuje zwiększenie sił międzycząsteczkowych i zagęszczenie mieszaniny,
- zła obróbka, złe proporcje składników płuczki.

Natomiast można ten parametr regulować poprzez chemiczną obróbkę płuczki, w wyniku której zostają zmniejszone siły międzycząsteczkowe, a tym samym obniżona granica płynięcia. Można to uczynić poprzez:

- rozerwanie wiązań walencyjnych poprzez rozdrobnienie cząstek iłu, powoduje to absorpcję ujemnych jonów przy krawędziach cząstek ilastych,
- w przypadku skażenia wapniem lub magnezem, jon powodujący siły przyciągania jest usuwany jako nierozpuszczalne wytrącenie, zmniejszając tym samym siły przyciągania i granice płynięcia.
- można też wykorzystać wodę, ale jej zastosowanie pociąga za sobą ryzyko zwiększenia filtracji, szczególnie w przypadku płuczek obciążonych.

Model przepływu oparty na równaniu wykładniczym jest najbardziej uniwersalnym opisem, ukazującym właściwości przepływu płynów nienewtonowskich. Ten model opisuje płyn, w którym naprężenie styczne zwiększa się jako funkcja szybkości ścinania, podniesionej do pewnej potęgi. Prawo wykładnicze dla płynów przedstawia się następująco:

$$\tau = k\gamma^n \quad [\text{wzór 6}]$$

gdzie:

- τ – naprężenie styczne,
- k – współczynnik konsystencji,
- γ – szybkość ścinania, sek^{-1} ,
- n – wykładnik potęgowy.

Współczynnik k i wykładnik n , są stałymi charakteryzującymi poszczególne płyny. K jest współczynnikiem konsystencji określającym zdolność do przepompowywania płynów, n jest wykładnikiem potęgowym określającym stopień nienewtonowskiej charakterystyki płynu. Gdy płyn staje się bardziej lepki, k wzrasta, natomiast kiedy płyn staje się bardziej rozrzedzony ścinaniem, n maleje. Jeżeli w poprzednim równaniu założymy dla n wartość jeden (1), równanie to, względem k można rozwiązać następująco:

$$k = \frac{\tau}{\gamma} \quad [\text{wzór 7}]$$

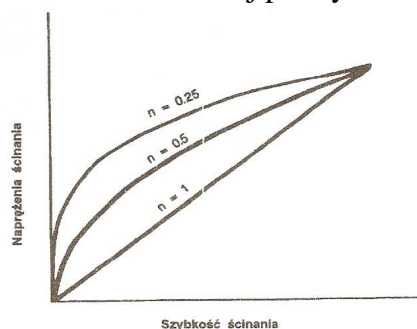
Równanie może zostać przedstawione jako:

$$\mu = \frac{\tau}{\gamma} \quad [\text{wzór 8}]$$

Możemy powiązać k z lepkością efektywną. Faktycznie k jest zdefiniowane jako lepkość płynu przy szybkości ścinania wyrażonej w sek^{-1} równej 1. Jednostką powszechnie używaną dla k są puazy. Czasami k wyrażamy również w funtach – sekundach na 100 stóp kwadratowych. Współczynnik k może być obliczony z następującego równania w jednostkach anglosaskich:

$$k = \frac{5,11\Theta_{300}}{511^n}, [\text{puazy}] \quad [\text{wzór 9}]$$

Dzieląc puazy przez 4.788, otrzymujemy k w funtach – sek na 100 stóp kwadratowych, są to jednostki bardzo często stosowane w światowej praktyce wiertniczej.



Rys. 7. Równanie wykładnicze dla płynów [3, s. 5.16]

Na rysunku 7 przedstawiono zależności dla stałych wartości n w modelu zgodnym z równaniem wykładniczym dla płynów. Kiedy $n = 1$, mamy do czynienia z płynem newtonowskim, wraz ze zmniejszaniem wartości n płyn staje się coraz bardziej rozrzedzony ścinaniem. Innymi słowy, krzywa zależności naprężenia styczne – szybkość ścinania jest linią prostą przy $n = 1$. Kiedy zmniejsza się wartość numeryczna wykładnika n wykres coraz bardziej odbiega od linii prostej. Wtedy też szybciej zmniejsza się lepkość efektywna przy wzroście szybkości ścinania. Wykładnik potęgowy n może być obliczony w następujący sposób:

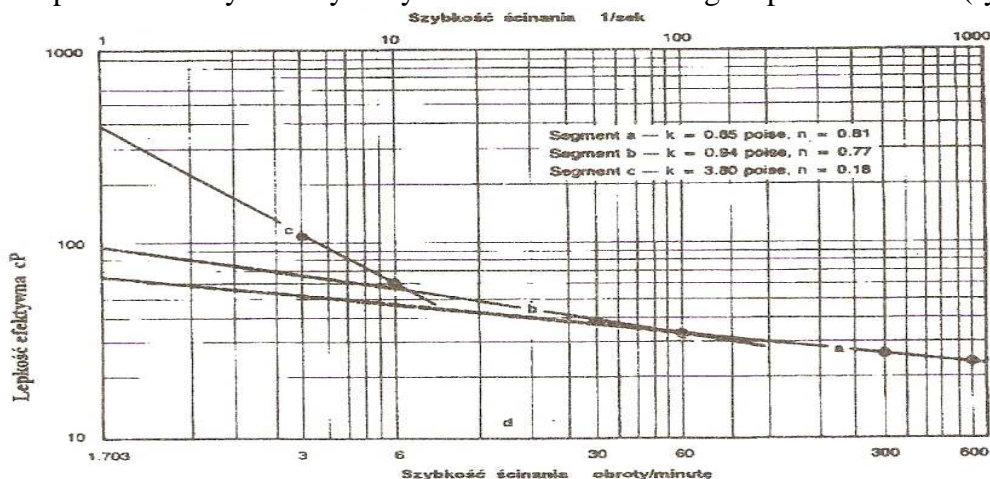
$$n = \frac{\log_{10} \frac{\Theta_{\text{wysokie}}}{\Theta_{\text{niskie}}}}{\log_{10} \frac{\omega_{\text{wysokie}}}{\omega_{\text{niskie}}}}, \quad [\text{wzór 10}]$$

gdzie

Θ – odczyty na skali lepkościomierza,

ω – obroty lepkościomierza, 1/min.

Używając dwuzakresowego lepkościomierza zależność pomiędzy k i n na zachowanie się płynu najlepiej jest zilustrować przez analizę typowego wykresu naprężeń stycznych w funkcji szybkości ścinania w układzie podwójnie logarytmicznym, przedstawione to zostało w oparciu na danych otrzymanych z sześciopakresowego lepkościomierza (rys. 8).



Rys. 8. Krzywa lepkości efektywnej wykreślona na podstawie 6 punktów pomiarowych.[3, s. 5.19]

Wykres tego typu podaje uproszczone graficzne rozwiązanie dla określenia k i n , określa również ich odpowiednie znaczenie. Zauważyć należy, że otrzymujemy trzy odcinki linii prostych łączących punkty z danymi. Rozważmy odcinek "a" linii prostej, który określa zachowanie się płynu przy wysokich szybkościach ścinania. Nachylenie linii wskazuje, że płyn jest rozcieńczony ścinaniem. Przez porównanie, linia "d" – płyn newtonowski, ma nachylenie 0, co wskazuje, że lepkość nie jest uzależniona od szybkości ścinania. Nachylenie linii na odcinku "a" posiada wartość $n=1$. Znaczy to, że na tym wykresie mamy trzy wartości n odpowiadające trzem odcinkom linii prostej (a, b, c.), każdy o odmiennym nachyleniu. Mamy również trzy wartości k – różne dla każdego odcinka linii prostej.

Nanosząc dane, otrzymamy krzywą dla nieskończonej liczby wartości n . Graficzne wyznaczenie n polegać będzie na określeniu stycznej – do krzywej lepkości efektywnej – nakreślonej w punkcie podanym dla danej określonej wartości szybkości ścinania.

Graficzne rozwiązanie dla k uzyskuje się przez przedłużenie linii stycznej (lub odcinka linii prostej) do pionowej osi układu, w celu odczytania lepkości wyrażonej w centypuazach przy wartości 1/sek. Z tego powodu będziemy mieli trzy wartości dla k na wykresie przedstawionym na rys. 8 lub nieskończoną liczbę wartości k w przypadku krzywej.

Parametry k i n mają tylko wtedy rzeczywisty związek, gdy przypisane są do specyficznej szybkości ścinania. Jednakże tam, gdzie krzywa dla płynu opisana jest przez skończoną liczbę pomiarów, parametry k i n opisane są przez odcinki linii, przypisane tym pomiarom. Można porównać szybkości ścinania do prędkości ruchu płynu w różnych geometrycznych konfiguracjach otworu. Ogólnie, uśrednione zakresy spotykane w systemie cyrkulacyjnym płuczki mogą być opisane w sposób następujący:

- przewód wiertniczy 100 do 500 sek,
- obciążniki 700 do 3000 sek,
- dysze świdra 10 000 do 1000 000 sek,
- przestrzeń pierścieniowa 10 do 500 sek,
- zbiorniki płuczkowe 1 do 5 sek.

Płuczki będzie zainteresowany wartościami k i n z przestrzeni pierścieniowej. Obie wartości są ogólnie związane z lepkością, stąd powiązanie wprost z charakterystyką czyszczenia otworu, spadkiem ciśnienia w przestrzeni pierścieniowej, typem przepływu i prędkością wiercenia

Warunki przepływu cieczy nienewtonowskiej

Dla naszych rozważań i praktyki ważny jest rozkład prędkości płuczki w przestrzeni pierścieniowej, pomiędzy zewnętrzną powierzchnią rur płuczkowych a wewnętrzną powierzchnią ścian otworu, ponieważ tu właśnie odbywa się transport zwiercin z dna otworu na powierzchnię.

Jak wykazały badania i doświadczenia, podczas przepływu cieczy nienewtonowskich w przestrzeni pierścieniowej jej prędkość zmienia się w zależności od odległości od ściany otworu w rozpatrywanym przekroju. Ta nierównomierność wynosi:

$$\alpha = \frac{v_{\max}}{v_{sr}}$$

Dla przekroju kołowego i przepływu warstwowego cieczy plastycznych współczynnik ten wynosi 2, a przy burzliwym jest bliski 1. Przy tzw. przepływie strukturalnym, w zależności od parametrów reologicznych cieczy i średniej prędkości przepływu, zmienia się on od 1,0 do 1,6.

Średnią prędkość przepływu dla przekroju kołowego (w przybliżeniu) można wyrazić wzorem:

$$v_{sr} = \frac{4Q}{\pi d^2} \text{ [m/s]} \quad \text{[wzór 11]}$$

Q – ilość tłoczonych płuczki (natężenie przepływu objętości) [m^3/s],

d – średnica wewnętrzna rury [m].

Dla przekroju pierścieniowego prędkość ta wyniesie:

$$v_{sr} = \frac{4Q}{\pi(D_o^2 - d_r^2)} \text{ [m/s]} \quad \text{[wzór 12]}$$

gdzie:

D_o – wewnętrzna średnica otworu [m],

d_r – zewnętrzna średnica rur płuczkowych [m],

Q – ilość tłoczonych płuczki [m^3/s].

Należyte płukanie otworu, tj. oczyszczanie dna i wynoszenie zwiercin będzie następowało wówczas, gdy prędkość płuczki w przestrzeni pierścieniowej będzie większa od prędkości opadania okruchów skalnych, a więc:

$$u = v_{sr} - v_s \quad \text{[wzór 13]}$$

gdzie:

u – prędkość wynoszenia okruchów [m/s],

v_s – prędkość opadania okruchów w płuczce [m/s].

Należy tu podkreślić, że wzrost ilości tłoczonych płuczki oraz ruch obrotowy przewodu wywierają dodatni wpływ na równomierność rozkładu prędkości płuczki w strumieniu. Na podstawie doświadczeń i praktyki stwierdzono, że dla należytego wynoszenia zwiercin wystarczające są średnie prędkości przepływu płuczki w przestrzeni pierścieniowej

w granicach od 0,4 do 0,8 m/s. Znając właściwości płuczki, można obliczyć prędkość opadania okruchów skał w płuczce. Obliczenie to można jednak wykonać tylko dla ograniczonych warunków, w których spełnione jest prawo Stokesa, tj. dla cząstek kulistych i niedużych prędkości opadania w cieczach rzeczywistych. W takim przypadku prędkość opadania wynosi:

$$s = \frac{2\pi r^2(\rho_1 - \rho_2)g}{9\eta} \quad [\text{wzór 14}]$$

gdzie:

r – promień cząstki skalnej [m],

ρ_1 – gęstość skały [kg/m^3],

ρ_2 – gęstość płuczki [kg/m^3],

η – współczynnik lepkości plastycznej płuczki, w [Pa·s].

Przy przepływie burzliwym prędkość opadania oblicza się za pomocą wzoru Rittingera:

$$s = 20 \sqrt{\frac{h_{cz}}{d_{cz}}} \sqrt{\frac{d_{cz}(\rho_1 - \rho_2)g}{\rho_1}} \quad [\text{wzór 15}]$$

gdzie:

h_{cz} – wysokość cząstki skały [m],

d_{cz} – średnica cząstki skały [m].

Do obliczenia oporów hydraulicznych w rurach i w przestrzeni pierścieniowej konieczne jest określenie charakteru przepływu. Do tego celu niezbędne jest obliczenie liczby Reynoldsa. Oblicza się ją z wzoru:

$$\text{Re} = 10^{-2} \frac{3,2\rho v d}{\eta} \quad [\text{wzór 16}]$$

gdzie:

d – średnica wewnętrzna rury [m],

v – średnia prędkość strumienia płuczki [m/s],

ρ – gęstość płuczki [kg/m^3],

Ogólnie przyjęto, że przy $\text{Re} < 2000$ przepływ ma charakter warstwowy, przy $\text{Re} > 4000$ – burzliwy. Dla wartości $2000 < \text{Re} < 4000$ przepływ ma charakter przejściowy.

Straty ciśnienia przy przepływie płuczki

W zależności od charakteru przepływu opory hydrauliczne, czyli straty ciśnienia dla cieczy nienewtonowskiej wynoszą:

– dla przepływu warstwowego (równanie Hagen-Poiseuille'a):

$$\Delta p = 0,9806 \frac{32\eta L v}{d^3} \quad [\text{wzór 17}]$$

– dla przepływu burzliwego (równanie Fanninga):

$$\Delta p = \frac{2 f \rho v^2}{d} 10^{-4} \quad [\text{wzór 18}]$$

gdzie:

Δp – straty ciśnienia [MPa],

η – współczynnik lepkości plastycznej płuczki [Pa s],

ρ – gęstość płuczki [kg/m^3],

f – współczynnik tarcia (bezwymiarowy),

v – średnia prędkość strumienia płuczki [m/s],

L – długość rury [m],

d – średnica wewnętrzna rury [m^2].

Współczynnik tarcia zależy od liczby Reynoldsa, można go obliczyć z dużym przybliżeniem z następujących wzorów:

$$f = 0,026 \text{Re}^{-0,14}$$

– dla rur płczkowych ze zwornikami FH lub zarurowanej przestrzeni pierścieniowej:

$$f = 0,03 \text{Re}^{-0,14}$$

– dla niezarurowanej przestrzeni pierścieniowej:

$$f = 0,035 \text{Re}^{-0,14}$$

Straty ciśnienia przy przepływie przez rury płczkowe lub przestrzen pierścieniową można wyrazić za pomocą poniższych wzorów:

$$\Delta p_r = 0.824 * 10^{-6} \frac{\eta^{0,14} \rho^{0,86} Q^{1,86} L}{d^{4,86}} \quad [\text{wzór 19}]$$

– dla rur ze zwornikami FH i IF:

$$\Delta p_r = 0.714 * 10^{-6} \frac{\eta^{0,14} \rho^{0,86} Q^{1,86} L}{d^{4,86}} \quad [\text{wzór 20}]$$

– dla przestrzeni pierścieniowej nieorurowanej:

$$\Delta p_r = 0.824 * 10^{-6} \frac{\eta^{0,14} \rho^{0,86} Q^{1,86} L}{(d_1 - d_2)^{0,86} (d_1^2 - d_2^2)^2} \quad [\text{wzór 21}]$$

– dla przestrzeni pierścieniowej zarurowanej:

$$\Delta p_r = 0.771 * 10^{-6} \frac{\eta^{0,14} \rho^{0,86} Q^{1,86} L}{(d_1 - d_2)^{0,86} (d_1^2 - d_2^2)^2} \quad [\text{wzór 22}]$$

gdzie:

η – wsp. lepkości plastycznej płuczki [Pa·s],

ρ – gęstość płuczki [kg/m^3],

Q – ilość tłoczonych płuczki [m^3/s]

L – długość otworu (rur) [m]

D – średnica wewnętrzna rur płczkowych, [m],

d_1 – średnica otworu [m],

d_2 – średnica zewnętrzna rur płczkowych [m].

Aby obliczyć całkowite opory przepływu (straty ciśnienia) do powyższych strat należy dodać straty ciśnienia przy przepływie płuczki przez układ napowierzchniowy oraz przez dysze w świdrze.

Straty ciśnienia przy przepływie przez dysze świdra oblicza się ze wzoru:

$$\Delta p_r = 5,566 * 10^{-7} \frac{Q^2 \rho}{(0,785d_e^2)^2} \quad [\text{wzór 23}]$$

gdzie:

$d_e = \sqrt{nd^2}$ – równoważna – ekwiwalentna średnica dysz (dla jednakowych dysz) [m],

n – liczba dysz.

Opory przepływu w części napowierzchniowej są stosunkowo małe i można je przyjmować w granicach od 1,5 – 2% sumy pozostałych oporów tłoczenia. W związku z tym, iż opory hydrauliczne rosną wraz z głębokością otworu moc doprowadzona do świdra wyniesie:

$$N_s = N_p - N_{st} \quad [\text{wzór 24}]$$

gdzie:

N_p – moc hydrauliczna pompy [kW],

N_{st} – strata mocy na pokonanie oporów tłoczenia [kW].

Badania wykazały, że na prędkość wiercenia mają wpływ:

- moc hydrauliczna,
- ciśnienie dynamiczne strugi płuczki,
- prędkość wypływu płuczki z dysz.

Na podstawie badań stwierdzono, że wymienione parametry osiągną wartości optymalne dla wiercenia, jeżeli:

- moc hydrauliczna tracona w dyszach świdra będzie równa 0,66 mocy rozwijanej przez pompę, tzn. straty ciśnienia w świdrze będą stanowiły 66% ciśnienia pompy,
- strata ciśnienia w dyszach świdra osiągnie 0,49 wartości ciśnienia wytwarzanego przez pompę,
- prędkość wypływu płuczki z dysz ustali się w zależności od możliwości technicznych; przyjmuje się, że prędkość ta nie powinna być mniejsza od 80 m/s.

4.2.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie są podstawowe parametry reologiczne płuczek wiertniczych?
2. Jaki jest reologiczny podział cieczy?
3. Na czym polega określanie wytrzymałości strukturalnej za pomocą lepkościomierza Fann?
4. Jakie znasz rodzaje przepływu i co je determinuje?
5. Co to jest Liczba Reynoldsa?
6. Co określa współczynnik konsystencji i w opisie jakiego rodzaju cieczy jest wykorzystywany?
7. Co to są opory przepływu i od czego zależą?
8. Od czego zależy prędkość opadania cząstek stałych w płuczce?
9. Jakie równanie opisuje zjawisko opadania cząstek stałych w płuczce?
10. W funkcji jakich parametrów zmienia się moc hydrauliczna przekazywana na dysze w świdrze?

4.2.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Oblicz średnią prędkość przepływu płuczki, jeżeli ilość tłoczonej płuczki wynosi $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$, średnica otworu $D_o = 216 \text{ mm}$, zewnętrzna średnica rur płuczkowych $d_r = 60 \text{ mm}$.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) zorganizować stanowisko do wykonania ćwiczenia,
- 2) odszukać wzory w materiałach dydaktycznych,
- 3) zapisać zależność,
- 4) wykonać obliczenia,
- 5) przeanalizować otrzymany wynik.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- papier formatu A4, flamastry,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika.

Ćwiczenie 2

Oblicz straty ciśnienia przy przepływie płuczki przez rury, przestrzeń pierścieniową, świder i urządzenia napowierzchniowe przy wierceniu świdrem o średnicy 216 mm z trzema dyszami o średnicy 0,01 m, głębokość otworu $H=2000 \text{ m}$, rury płuczkowe $4 \frac{1}{2}'' \text{ SP}$ (lub FH), ilość tłoczonej płuczki $Q=0,0185 \text{ m}^3/\text{s}$, gęstość płuczki 1100 kg/m^3 , ostatnie zarurowanie otworu rurami $9 \frac{5}{8}''$, but rur na głębokości 1000m, lepkość plastyczna płuczki $0,0018 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, maksymalne ciśnienie pompy $P_p=21,6 \text{ MPa}$. Dla uproszczenia można pominąć obciążniki i obliczyć tak, jakby rury płuczkowe były od wierzchu do świdra.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) zorganizować stanowisko do wykonania ćwiczenia,
- 2) odszukać w materiałach dydaktycznych informacje dotyczące tematu zadania,
- 3) dokonać analizy powstawania oporów przepływu w różnych miejscach w otworze,
- 4) określić straty ciśnienia, lepkość plastyczną, dysze świdra,
- 5) zapisać zależności między danymi z zadania i wielkościami szukanymi,
- 6) wykonać obliczenia,
- 7) przeanalizować otrzymany wynik.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- papier formatu A4, flamastry,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika.

Ćwiczenie 3

Wyznacz maksymalną i średnią prędkość laminarnego przepływu cieczy newtonowskiej w długiej rurze oraz rozkład naprężeń stycznych i szybkości ścinania w funkcji odległości od osi rury.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zorganizować stanowisko do wykonania ćwiczenia,
- 2) odszukać w materiałach dydaktycznych informacje dotyczące tematu zadania,
- 3) dokonać analizy powstawania oporów przepływu, w różnych miejscach w otworze,
- 4) wykorzystać następujące wzory:

$$\text{prędkość krytyczną: } v = \frac{\Delta p}{4\eta l} (R^2 - r^2), [m/s],$$

$$\text{liniowa zależność szybkości ścinania od odległości od osi rury: } \gamma = \frac{\Delta p}{2\eta l} r,$$

- 5) wykonać obliczenia,
- 6) przeanalizować otrzymane wyniki.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- papier formatu A4, flamastry,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika.

4.2.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) wymienić podstawowe modele reologiczne?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) opisać składniki równania Bingham'a?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) scharakteryzować ciecz uogólnioną Newtona?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) scharakteryzować współczynniki k i n ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) opisać strukturę wewnętrzną płuczki?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) określić wielkość wytrzymałości strukturalnej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) określić, co to jest tiksotropia?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) określić od czego zależą opory przepływu płuczki?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) obliczyć prędkość przepływu płuczki?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) obliczyć straty ciśnienia przepływu płuczki przez rury?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5. SPRAWDZIAN OSIĄGNIĘĆ

INSTRUKCJA DLA UCZNI

1. Przeczytaj uważnie instrukcję.
2. Podpisz imieniem i nazwiskiem kartę odpowiedzi.
3. Zapoznaj się z zestawem zadań testowych
4. Test zawiera 20 zadań. Do każdego są dołączone 4 możliwości odpowiedzi. Tylko jedna jest prawidłowa
5. Udzielaj odpowiedzi na załączonej karcie odpowiedzi, stawiając w odpowiedniej rubryce znak X. W przypadku pomyłki należy błędną odpowiedź zaznaczyć kółkiem, a następnie ponownie zakreślić odpowiedź prawidłową.
6. Pracuj samodzielnie, bo tylko wtedy będziesz miał satysfakcję z wykonanego zadania.
7. Jeżeli udzielenie odpowiedzi będzie Ci sprawiało trudność, wtedy odłóż jego rozwiązanie na później i wróć do niego, gdy zostanie Ci wolny czas.
8. Na rozwiązanie testu masz 30 minut.

Powodzenia!

ZESTAW ZADAŃ TESTOWYCH

1. Wartości z lepkościomierza Fann odczytujemy bezpośrednio w jednostkach
 - a) stopniach kątowych.
 - b) mPa·s.
 - c) N.
 - d) s.
2. Szirometr podaje bezpośrednio wielkość wytrzymałości strukturalnej w jednostkach
 - a) lb/100ft².
 - b) lb/100ft³.
 - c) N.
 - d) kg/m².
3. Czas wypływu 1000 cm³ wody podczas kalibracji Lejka Marsha wynosi
 - a) 40 s.
 - b) około 27 s.
 - c) 15 s.
 - d) 90 s.
4. Lepkość AV [cP] z odczytu z lepkościomierza Fann określamy poprzez wskazanie przy
 - a) 300 obr/min podzielone przez 2.
 - b) 600 obr/min podzielone przez 2.
 - c) 3 obr/min podzielone przez 2.
 - d) obr/min podzielone przez 3.
6. Pomiar filtracji płuczki na prasie API jest wykonywany w okresie czasu i pod ciśnieniem
 - b) 40 s i 0,5 MPa.
 - c) 10 s i 10 bar.
 - d) 30 min i 15 bar.
 - e) 30 min i 0,7 MPa.
5. Wzrost zawartości jonów chlorkowych podczas wiercenia może wystąpić w sytuacji
 - a) dopływu wody złożowej-solanki do otworu.
 - b) dopływu gazu do płuczki.
 - c) rzadko obserwuje się taką sytuację.
 - d) dopływu wody słodkiej do otworu.
6. EDTA oznacza
 - a) wersenian dwusodowy.
 - b) wodorotlenek sodu.
 - c) trietanolamina.
 - d) karboksymetylohydroksyetylocelulozę.
8. Wykonywanie specjalistycznych pomiarów filtracji polega na wykonaniu badań
 - a) wiskozymetrem kapilarnym HTHP.
 - b) lepkościomierzem Fann 700.
 - c) retortą wysokotemperaturową.
 - d) miareczkowaniem wysokociśnieniowym.

9. W cieczach Newtona granica płynięcia
 - a) występuje.
 - b) nie występuje.
 - c) występuje, ale posiada zaniedbywalną wartość.
 - d) występuje i często uniemożliwia przetłaczanie w otworze.

10. Wielkość tarcia wewnętrznego jest
 - a) proporcjonalna do powierzchni warstw przesuwających się wzajemnie, gradientu prędkości i współczynnika lepkości dynamicznej.
 - b) proporcjonalna do czasu.
 - c) zależna jedynie lepkości płuczki.
 - d) zależna jedynie gradientu prędkości ścinania.

11. Granica płynięcia jest miarą
 - a) złego wymieszania płuczki newtonowskiej.
 - b) elektrochemicznych sił przyciągania występujących w płuczce.
 - c) zbyt dużej ilości wody w płuczce.
 - d) niskiej wydajności pomp płuczkowych.

12. Równanie Bingham'a opisuje
 - a) ruch płuczki pseudoplastycznej.
 - b) opory płuczki w przestrzeni pierścieniowej.
 - c) model cieczy nienewtonowskiej.
 - d) ruch płuczki newtonowskiej z zbiorniku roboczym.

13. Wielkość granicy płynięcia można regulować poprzez
 - a) chemiczną obróbkę płuczki.
 - b) podniesienie temperatury płuczki.
 - c) lepsze wymieszanie płuczki.
 - d) zwiększenie prędkości przepływu płuczki w przestrzeni pierścieniowej.

14. Równanie $\tau = k\gamma^n$ opisuje
 - a) naprężenia styczne zwiększają się jako funkcja szybkości ścinania.
 - b) ciecz plastyczną.
 - c) ciecz Bingham'a.
 - d) ciecz w której występuje granica płynięcia.

15. Wskaźnik K jest
 - a) współczynnikiem konsystencji określającym zdolność do przepompowywania płynów.
 - b) współczynnikiem lepkości pozornej.
 - c) współczynnikiem decydującym o wielkości granicy płynięcia.
 - d) stężenia jonów chlorkowych w płuczce.

16. Gdy zmniejsza się wartość numeryczna wykładnika n to
 - a) płyn staje się bardziej rozcieńczony ścinaniem.
 - b) płyn staje się mniej rozcieńczony ścinaniem.
 - c) płyn staje się bardziej lepki.
 - d) rośnie granica płynięcia.

17. Podczas przepływu prędkość zmienia się w zależności od odległości od ściany dla
- cieczy binghamowskiej.
 - cieczy Newtona.
 - nie zmienia się w przypadku żadnej cieczy.
 - piany.
18. Równanie Fanninga opisuje opory przepływu
- płuczki dla przepływu laminarnego.
 - dla przepływu turbulentnego.
 - płuczki w dyszach świdra.
 - w armaturze napowierzchniowej.
19. Współczynnik tarcia f bezpośrednio zależy od
- liczby Reynoldsa.
 - temperatury.
 - liczby Saint Venanta.
 - zawartości jonów magnezowych w płuczce.
20. Przy obliczaniu całkowitych oporów przepływu należy uwzględnić
- rodzaj narzędzia wierzącego.
 - skład płuczki wiertniczej.
 - układ napowierzchniowy oraz przez dysze w świdrze.
 - gradient ciśnienia złożowego.

KARTA ODPOWIEDZI

Imię i nazwisko.....

Wykonywanie pomiarów płuczki wiertniczej i specjalnej

Zakreśl poprawną odpowiedź

Nr zadania	Odpowiedzi				Punkty
1	a	b	c	d	
2	a	b	c	d	
3	a	b	c	d	
4	a	b	c	d	
5	a	b	c	d	
6	a	b	c	d	
7	a	b	c	d	
8	a	b	c	d	
9	a	b	c	d	
10	a	b	c	d	
11	a	b	c	d	
12	a	b	c	d	
13	a	b	c	d	
14	a	b	c	d	
15	a	b	c	d	
16	a	b	c	d	
17	a	b	c	d	
18	a	b	c	d	
29	a	b	c	d	
19	a	b	c	d	
20	a	b	c	d	
Razem:					

6. LITERATURA

1. Bielewicz D. Płuczki wiertnicze i ciecze nadpakerowe, wykłady, studia uzupełniające AGH 2007
2. Pórchłopek, Wiertnictwo i udostępnianie złóż. 1986
3. Karlic S., Artymiuk J., Bednarz S.: Systemy transportu zwiercin w wiertnictwie wielkośrednicowym. V Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, „Nowe Metody i Technologie w Geologii Naftowej, Wiertnictwie, Eksploatacji i Gazownictwie”, Kraków, 17–19.09.1992
4. MI Drilling Manual 1998