

Rafał Wiśniowski*, Stanisław Stryczek*, Krzysztof Skrzypaszek*

**KONCEPCJA STANOWISKA BADAWCZEGO
PRZEZNACZONEGO DO POMIARÓW
PARAMETRÓW PRZEPIYWU CIECZY WIERTNICZYCH****

1. WSTĘP

Płyny wiertnicze stosowane są w szeregu pracach inżynierskich. Celem ich aplikacji jest:

- oczyszczanie dna otworu wiertniczego,
- usuwanie zwiercin,
- stabilizacja ściany otworu wiertniczego,
- smarowanie narzędzia wierzącego,
- zmniejszenie współczynnika tarcia oraz uszczelnianie przestrzeni pierścieniowej pomiędzy rurami osłonowymi a ścianą otworu,
- stabilizacja uszczelnianie i wzmacnianie górotworu skalnego lub ośrodka gruntowego.

Jednym z ważniejszych zadań inżynierskich w wiertnictwie jest ustalenie zależności parametrów hydraulicznych od warunków przetłaczania płynów technologicznych. Determinowane jest to między innymi dynamicznie zmieniającym się w ostatnich czasach podejściem do opisu właściwości reologicznych płuczek wiertniczych oraz zaczynów cementowych. Nowe dodatki do płynów wiertniczych, często w postaci polimerów powodują, że klasyczne modele reologiczne nie dość dobrze opisują właściwości tych cieczy. Z analizy statystycznej zależności pomiędzy pomiarami naprężeń stycznych i szybkości ścinania, wykonanej dla obecnie stosowanych cieczy wiertniczych, w wielu przypadkach stwierdza się, że nie powinno się stosować liniowych modeli cieczy plastycznolepkich (Newtona, Binghama). Znane są bardziej złożone, nieliniowe modele reologiczne (np. wykładniczy model Herschela–Bulkleya), które zdecydowanie lepiej opisują zależność pomiędzy naprężeniami stycznymi a szybkością ścinania w cieczach wiertniczych. Nie ma dla nich jednak dotychczas ustalonych związków pomiędzy strumieniem tłoczony objętości przepływu cieczy

* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Praca zrealizowana w ramach GUZ-u 21.10.190.288

a powstającymi oporami przepływu. Dlatego też, na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu, opracowano koncepcję stanowiska badawczego (laboratoryjno/polowego) pozwalającego wyprowadzić niezbędne zależności na podstawie dużej liczby pomiarów [1, 2, 3].

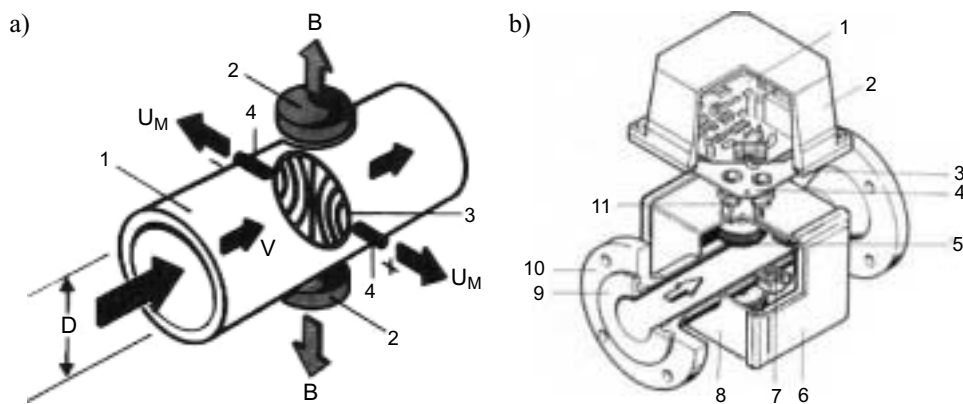
W tym celu określono warunki brzegowe procesu technologicznego, dokonano koniecznych obliczeń i zdecydowano się na zakup odpowiednio wybranego sprzętu badawczego. Podstawowym urządzeniem pomiarowym jest przepływomierz składający się z czujnika elektromagnetycznego oraz przetwornika sygnału. Zdecydowano się na ten rodzaj urządzenia dlatego, że badane ciecze są dobrymi przewodnikami prądu elektrycznego (podstawa działania tego typu przepływomierzy) jego cena dla wymaganej dokładności pomiaru jest atrakcyjna w porównaniu z innymi rodzajami tych urządzeń [6]. Do pomiaru różnicy ciśnienia skorzystano z cyfrowych przetworników ciśnienia. W celu gromadzenia danych wykorzystano cyfrowe rejestratory danych oparte o pamięć flash.

2. PRZEPLÝWOMIERZE ELEKTROMAGNETYCZNE ORAZ PRZETWORNIKI CIŚNIENIA

Przepływomierze elektromagnetyczne, ze względu na stosunkowo wysoką dokładność oraz nie stwarzanie dodatkowych oporów przepływu, często stosowane są w różnych gałęziach przemysłu.

W przepływomierzu elektromagnetycznym wykorzystuje się związek pomiędzy wektorem indukcji pola elektromagnetycznego, prędkością strumienia cieczy przewodzącej w tym polu oraz indukowanym na końcach przewodnika napięciem. Z powyższego wynika jednoznacznie, że przepływomierz elektromagnetyczny może być stosowany wyłącznie do pomiarów przepływów płynów przewodzących prąd elektryczny.

Idea pomiaru jest przedstawiona na rysunku 1. W kierunku pionowym, prostopadle do osi rury, umieszczone są elektromagnesy generujące pole magnetyczne, którego strumień przenika przez przepływający w rurze czynnik. Prostopadle do osi rury i strumienia magnetycznego zainstalowane są elektrody. Wartość napięcia jest wprost proporcjonalna do iloczynu indukcji magnetycznej, długości czynnej przewodnika (średnicy rury) oraz prędkości przewodnika (prędkości cieczy). Znając wartość zmierzonego napięcia, indukcję magnetyczną oraz czynną długość przewodnika, można określić strumień objętości przepływu cieczy. Odcinek rurociągu wchodzący w skład przepływomierza jest wyłożony wykładziną izolacyjną. Rura jest wykonana z metalu niemagnetycznego. Najczęściej używanymi materiałami na wykładzinę izolacyjną są neopren, poliuretan, teflon, linatex i ceramika, natomiast do wytwarzania elektrod stosuje się niemagnetyczną nierdzewną stal, tantal lub stop platyny i irydu. Przetwornik przepływomierza wzmacnia i przetwarza sygnał przepływu, eliminuje pasożytnicze siły elektromotoryczne i kompensuje zmiany w zasilaniu elektrycznym. Konieczność eliminacji różnego typu zakłóceń występujących podczas pomiarów jest między innymi powodem zasilania cewek elektromagnesów prądem przemiennym. W nowszych rozwiązaniach prąd zasilający ma przebieg prostokątny o kierunku zmieniającym się co okres i częstotliwości kilku herców. Zastosowanie przebiegów prostokątnych w połączeniu z mikroprocesorową obróbką sygnału przyczyniło się do szerokiego rozpowszechnienia tych przyrządów.



Rys. 1. Przepływomierz elektromagnetyczny: a) zasada działania: 1 – rura pomiarowa, 2 – cewka magnesująca, 3 – wyodrębniony przekrój przepływu, 4 – elektroda pomiarowa, B – indukcja magnetyczna, U_M – napięcie na elektrodzie, v – prędkość przepływu; b) budowa: 1 – moduł przetwarzający, 2 – obudowa przetwornika, 3 – uszczelnienie, 4 – moduł przejściowy, 5 – cewka magnesująca, 6 – pokrywa obudowy miernika, 7 – elektroda pomiarowa, 8 – obudowa miernika, 9 – odcinek pomiarowy, 10 – kołnierze, 11 – wyjścia kablowe z dławikami

Przepływomierze elektromagnetyczne są urządzeniami bezinercyjnymi, jednak wykorzystanie tej cechy w większości rozwiązań jest niemożliwe. Cyfrowe uśrednianie wyników serii pomiarów umożliwia dodatkową eliminację zakłóceń i fluktuacji sygnału pomiarowego. Jest to proces odznaczający się czasem trwania wykluczającym pomiar bezinercyjny. Rezygnacja z cyfrowej obróbki sygnału w celu zwiększenia szybkości działania jest przeważnie niecelowa. Należy dodać, że przepływomierze elektromagnetyczne są wrażliwe na zewnętrzne pola magnetyczne oraz na stalowe elementy sąsiednich konstrukcji, które mogą zakłócić ich autonomiczne pole magnetyczne.

Przepływomierz elektromagnetyczny podlega poważnemu ograniczeniu, jakim jest możliwość stosowania go wyłącznie do pomiarów przepływów płynów przewodzących prąd elektryczny. Jednak dzięki zaawansowanym technologiom, współcześnie budowane urządzenia umożliwiają pomiar większości spotykanych w praktyce technicznej cieczy, są przy tym niewrażliwe na zmiany ich konduktywności.

Gęstość oraz lepkość cieczy nie wpływają na dokładność pomiaru, co stanowi niewątpliwą zaletę przepływomierza. Przy zachowaniu osiowej symetrii ruchu płynu kształt profilu prędkości nie ma wpływu na dokładność wskazań. Ta właściwość przepływomierza umożliwia pomiary przepływów płynów o odmiennych właściwościach reologicznych (płuczki polimerowe, emulsyjne) co jest istotną zaletą obok niewrażliwości na lepkość i gęstość cieczy. Przepływomierze elektromagnetyczne umożliwiają pomiary przepływów zawiesin i przepływów wielofazowych, w których faza ciągła przewodzi prąd elektryczny [6].

W skonstruowanym na WWNiG stanowisku badawczym zdecydowano się na przepływomierz z serii MAGFLO firmy Siemens (rys. 2). Zaprojektowano parametry geometryczne przepływomierza, którego wykonanie zlecono firmie Siemens.



Rys. 2. Widoki ogólne przepływomierza elektromagnetycznego firmy Siemens/Danfoss

O wyborze tego modelu zdecydowały następujące czynniki:

- przepływomierze elektromagnetyczne MAGFLO są dwuczęściowymi zestawami przeznaczonymi do pomiaru przepływu cieczy posiadających przewodność elektryczną;
- metoda pomiaru umożliwia pomiar przepływu płynów o dużej zawartości ciał stałych;
- zestaw pomiarowy składa się z czujnika MAG 3100 zamontowanego na rurociągu oraz przetwornika pomiarowego MAG 5000;
- czujniki przepływu oferowane są w szerokiej gamie wykonań materiałowych oraz w wielu wariantach przyłączy – kołnierzowe, bez kołnierzy (typu sandwich) oraz ze złączem skręcanym wg DIN11851;
- przetworniki pomiarowe przepływomierzy MAGFLO oferowane są w wielu wariantach obudowy – naścienne, typu compact do zabudowy bezpośrednio na czujniku oraz do zabudowy w kasecie 19" lub na elewacji szafy;
- przetworniki wyposażone są w wyjście prądowe $4\div 20$ mA, cyfrowe oraz przekaźnikowe sygnalizujące stany awaryjne oraz zmianę kierunku przepływu;
- przepływomierze MAGFLO wykrywają i sygnalizują wystąpienie przepływu niepełnym przekrojem rurociągu;
- w wykonaniach standardowych przetworniki posiadają stopień ochrony IP67, który może zostać podwyższony do IP68 przy użyciu dodatkowego zestawu uszczelniającego;
- czujniki MAG 3100 (z wyjątkiem okładziny PTFE) wyposażone są standardowo w uziemione elektrody [6].

2.1. Przetworniki ciśnienia

W stanowisku badawczym z szerokiego spektrum urządzeń tego typu na rynku skorzystano z oferty firmy VEGA z powodu nieprzeciętnych parametrów technicznych. Przetworniki VEGABAR 14 (rys. 3) są stosowane do ciągłego pomiaru ciśnienia. Ciśnienie gazu lub ciśnienie hydrostatyczne cieczy działa na membranę ceramiczną przetwornika i wywołuje zmiany pojemności ceramicznej celi pomiarowej. Elektronika przetwornika przetwarza zmiany pojemności celi na sygnał elektryczny (prąd o zakresie $4\div 20$ mA) proporcjonalny do ciśnienia. Dzięki zastosowaniu ceramicznej – pojemnościowej celi pomiarowej

CERTEC uzyskano jednocześnie bardzo dużą stabilność długoterminową przetwornika oraz odporność na przeciążenia. W przetworniku VEGABAR 14 istnieje możliwość korekcji „zera” w zależności od pozycji, w jakiej został zamontowany [7].



Rys. 3. Widok ogólny przetwornika ciśnienia Vegabar 14

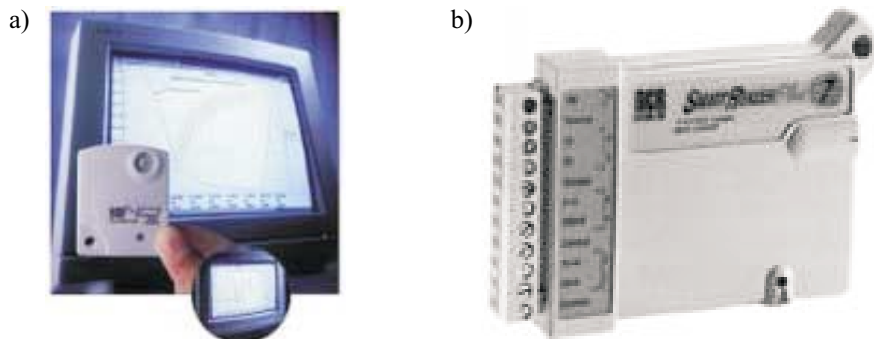
3. NOWOCZESNE METODY GROMADZENIA DANYCH POMIAROWYCH – CYFROWE REJESTRATORY DANYCH

Cyfrowe rejestratory danych należą do nowej generacji urządzeń rejestrujących, odbiegających filozofią rozwiązań konstrukcyjnych od tradycyjnych rejestratorów z zapisem na taśmie papierowej. Całkowicie elektroniczne, o niewielkich wymiarach i masie, bez elementów mechanicznych, z własnym źródłem zasilania gromadzą dane w wewnętrznej półprzewodnikowej pamięci. Do ich programowania oraz odczytu zarejestrowanych danych służą programy zainstalowane w komputerze klasy PC. Programy te zapewniają konfigurację rejestratorów w zakresie czasów próbkowania, opóźnienia startu rejestracji, sposobu zapisu pamięci, ustawienia progów alarmowych i ewentualnie komunikacji modemowej. Istnieje możliwość obserwacji zmian rejestrowanych danych w czasie rzeczywistym przy użyciu programu RealTime. Odczyt danych z pamięci rejestratora przez obsługujący program, pozwala na obróbkę wykresów poprzez nanoszenie odpowiednich opisów, zastosowanie zaś funkcji zoom umożliwia odczyt zarejestrowanych danych z wielką dokładnością. Format plików z zapisanymi danymi jest odczytywany przez programy kalkulacyjne, np. MS Excel. Połączenie z komputerem odbywa się przez port szeregowy (RS 232C).

Rejestratory danych firmy ACR Systems Inc. (rys. 4) przeznaczone są do rejestracji wyników pomiarów wielkości elektrycznych i nieelektrycznych. Dane zapisywane są w postaci cyfrowej w pamięci półprzewodnikowej.

Mogą rejestrować standardowe sygnały prądowe i napięciowe, sygnały czujników termoelektrycznych, ilość impulsów, a po zainstalowaniu dodatkowych modułów/czujników:

- temperaturę,
- wilgotność względną,
- ciśnienie,
- prąd 3-fazowy.



Rys. 4. Rejestratory firmy ACR Systems – OWL 500 (a) i SmartReader Plus (b)

Konfigurację i odczyt zawartości pamięci rejestratora realizuje się poprzez szeregowy port komputera klasy IBM PC. Rejestratory serii SmartReader pozwalają na zapis 32 768 wyników pomiarów z rozdzielczością 8 bitów (1/256). Seria SmartReader Plus umożliwia zapis 21 500 wyników z rozdzielczością 12 bitów (1/4096).

Dane mogą być zapisywane w dwóch trybach:

- 1) w sposób ciągły (po zapełnieniu pamięci najnowsze wyniki zapisywane są w miejsce zapisanych najwcześniej (*first-in, first-out*),
- 2) aż do zapełnienia pamięci (*fill-then-stop*).

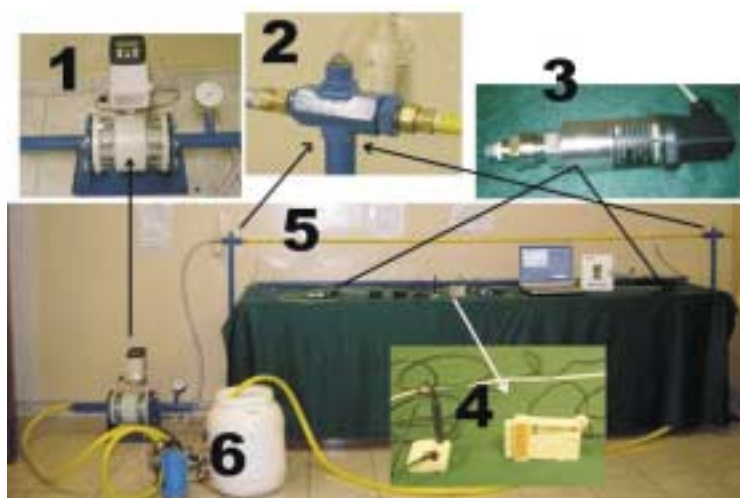
Urządzenia wyposażone są w wewnętrzny zegar, który steruje częstotliwością próbkowania sygnału pomiarowego. Cykl pomiaru programowany jest przy konfiguracji rejestratora za pomocą komputera, a wynosi od 8 sekund do 5 dni – seria SmartReader lub od 25 sekund do 8 godzin – seria SmartReader Plus. Urządzenia posiadają własne zasilanie (bateria 3,6 V, 1 Ah), które umożliwia ok. 10 lat pracy rejestratora bez wymiany baterii. Wszystkie modele (z wyj. SR9 plus) posiadają wbudowany termistorowy czujnik temperatury, który umożliwia rejestrację temperatury otoczenia dla każdego pomiaru. Rejestratory mogą pracować w temperaturze od -45 do 70°C . Do transmisji danych z rejestratora do komputera, konfiguracji rejestratora, analizy i prezentacji wyników pomiarów, ustawiania wartości alarmowych itd. służą oprogramowania: TrendReader for Windows, RealTime Monitor, TalkBack [4, 5].

4. KONCEPCJA UNIWERSALNEGO STANOWISKA BADAWCZEGO SŁUŻĄCEGO DO POMIARU PARAMETRÓW PRZEPIYU CIECZY WIERTNICZYCH W WARUNKACH LABORATORYJNYCH I TERENOWYCH

Stanowisko badawcze składa się z następujących elementów:

- przepływomierza elektromagnetycznego Magflo firmy Danfoss składającego się z:
 - elektromagnetycznego czujnika przepływu Danfoss MAG 3100;
 - przetwornika sygnału Danfoss MAG 5000;
- przetwornika ciśnienia VEGABAR 14 (ciś. max – 6 bar, dokł. – 0.25, gwint M20x1,5, IDAM sygnał od $4 \div 20$ mA);

- przetwornika ciśnienia VEGABAR 14 (ciś. max – 2,5 bar, dokł. – 0.25, gwint M20x1,5, IDAM sygnał od 4÷20 mA);
- rejestratora OWL 500 firmy ACR systems;
- rejestratora SmartReader Plus firmy ACR systems;
- pompy wirnikowej;
- unikalnego, wykonanego na zamówienie zestawu głowic, elementów mocujących i łączących poszczególne elementy;
- oprogramowania Trendreader;
- komputera klasy PC.



Rys. 5. Stanowisko badawcze w laboratorium Zakładu Wiertnictwa WWNiG: 1 – zestaw przepływomierza firmy Siemens, 2 – punkty pomiaru ciśnienia – głowice wykonane na zamówienie, 3 – przetworniki ciśnienia, 4 – cyfrowe rejestratory danych podłączone bezpośrednio do komputera, 5 – odcinek pomiarowy, 6 – pompa wirnikowa oraz zbiornik na badany płyn

Zasada działania stanowiska laboratoryjnego (rys. 5)

Pompa tłoczy płyn umieszczony w zbiorniku za pomocą gumowego węża do przepływomierza. Za nim znajduje się pierwszy z przetworników ciśnienia. Zarówno przepływomierz, jak i przetwornik ciśnienia współpracują z cyfrowym rejestratorem danych SmartReader plus, do którego są podłączone. Za pierwszym przetwornikiem ciśnienia znajduje się odcinek pomiarowy złożony z wymiennych rur o długości 3 metrów i różnych (dostępnych) średnicach. Rury te zakończone są przetwornikiem ciśnienia podłączonym do cyfrowego rejestratora OWL 500. Następnie płyn jest kierowany za pomocą gumowego węża do zbiornika i w ten sposób zamknięty zostaje system cyrkulacyjny.

Pomiar polega na identyfikacji w jednym czasie podczas przepływu płynu trzech mierzonych wartości:

- 1) chwilowego strumienia objętości przepływu,
- 2) ciśnienia przepływu na początku rur,
- 3) ciśnienia przepływu na końcu rur.

Zajmują się tym zsynchronizowane cyfrowe rejestratory danych z pewnym krokiem czasowy i magazynują dane w wewnętrznej pamięci typu Flash która po pomiarze zostaje odczytana za pomocą programu TrendReader przez komputer klasy PC. Po odczycie dane mogą zostać poddane przetworzeniu za pomocą innych programów (np.: Excel, Statistica).

Do badań terenowych wykorzystuje się wszystkie elementy pomiarowe ze stanowiska laboratoryjnego oraz dodatkowo elementy łączące (wykonane na zamówienie) przepływomierz i przetworniki ciśnienia z elementami przewodu wiertniczego. Całość działa niezależnie od siebie, urządzenia pomiarowe są zsynchronizowane w czasie i mogą pobierać dane z minimalnym krokiem czasowym 0,2 sekundy bez jakiegokolwiek dodatkowej pomocy. Daje to możliwość sprawnego przeprowadzenia dokładnych badań w krótkim czasie nie zakłócając prac wiertniczych.

5. PODSUMOWANIE

Stosowanie nowych receptur płynów wiertniczych stwarza konieczność modyfikacji istniejących lub tworzenie nowych modeli reologicznych płynów. Niezbędne staje się również wyznaczanie nie tylko jakościowych, ale również ilościowych związków pomiędzy własnościami tłoczonych cieczy a parametrami hydromechanicznymi przepływu.

W celu ustalenia szukanych zależności niezbędne jest skonstruowanie specjalnego stanowiska laboratoryjnego. Stanowisko takie skonstruowano na WWNiG dzięki czemu będzie można prowadzić prace naukowo-badawcze nad doбором parametrów technologicznych cieczy wiertniczych w zależności od parametrów hydromechanicznych ich przepływu (lub odwrotnie).

LITERATURA

- [1] Bourgoyne A.T., Milheim K.K., Chenevert M.E., Young F.S.: *Applied Drilling Engineering*. SPE Textbook, 1986
- [2] Klotz J.A., Brigham W.E.: *To determine Herschel-Bulkley coefficients*. Journal of Petroleum Technology, Nov. 1998
- [3] Raczkowski J.: *Technologia płuczek wiertniczych*. Katowice, Wydawnictwo Śląsk 1981
- [4] ACR Systems INC. Smartreader Plus Reference Guide, 1999
- [5] ACR Systems INC. OWL Reference Guide, 1999
- [6] Siemens/Danfoss: Magflo Reference Guide, 2000
- [7] VEGA: Vegabar 14 Reference Guide, 2002