

**Stanisław Dubiel\*, Paweł Wojnarowski\*, Paweł Pyrzak\***

**ANALIZA ZMIAN PRZEPUSZCZALNOŚCI  
SKAŁ DOLOMITU GŁÓWNEGO W STREFIE PRZYOTWOROWEJ  
NA PODSTAWIE WYNIKÓW OPRÓBOWANIA  
RUROWYM PRÓBNIKIEM ZŁOŻA\*\***

**1. WSTĘP**

Złóż ropy naftowej i gazu ziemnego poszukuje się oraz udostępnia otworami wiertniczymi wykonywanymi metodą obrotową z zastosowaniem płuczki wiertniczej. W otworach tych przewierca się warstwy skał zbiornikowych nasyconych płynem złożowym, które identyfikuje się metodami wiertniczymi (metody kontroli procesu wiercenia, zwłaszcza przy użyciu laboratoriów polowych), geofizycznymi (kompleks profilowań otworów wiertniczych sondami) oraz hydrodynamicznymi (np. stosowanie rurowych próbników złoża, testy produkcyjne).

Technologia procesu przewiercania warstw skał ekranujących złożę (zwykle nieprzepuszczalnych) oraz skał zbiornikowych (porowatych i przepuszczalnych) – rozumianego jako dowiercanie ewentualnego złoża – a także procesu rurowania i cementowania rur okładzinowych, ma znaczny (najczęściej szkodliwy) wpływ na efektywność prac poszukiwawczych oraz na jednoznaczną interpretację wyników opróbowania złoża, a ponadto, na efekty późniejszej eksploatacji złoża.

W procesie dowiercania perspektywicznych warstw skał zbiornikowych konieczna jest zwykle ocena ich produktywności, którą realizuje się badaniami przy użyciu rurowego próbника złoża (RPZ) w nieorurowanym odcinku otworu. Uzyskanie jednoznacznej interpretacji wyników takiego opróbowania umożliwia wczesne podjęcie decyzji odnośnie celowości rurowania i cementowania rur okładzinowych w strefie złożowej, względnie wyposaźania odwiertu w zestaw wydobywczy [1, 4, 6, 10]. Daje to wymierne efekty ekonomiczne.

Na uzyskanie wiarygodnych wyników takiego opróbowania mają między innymi wpływ parametry technologii dowiercania warstwy perspektywicznej, które dobiera się w zależności od panujących warunków złożowych [2,6].

---

\* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

\*\* Praca wykonana w ramach badań statutowych

## 2. ROZWÓJ TECHNOLOGII DOWIERCANIA DOLOMITU GŁÓWNEGO

Poziom dolomitu głównego występujący w utworach cechsztyńskich w różnych rejonach na Niżu Polskim charakteryzuje się dużą różnorodnością pod względem litologicznym, miąższości, głębokości zalegania, właściwościami zbiornikowymi (porowatość, przepuszczalność, szczelinowatość), gradientem ciśnienia złożowego (0,123–0,213 bar/m) oraz składem występujących płynów złożowych (woda, ropa i gaz w większości przypadków z zawartością  $H_2S$  od 1 do 55%) [1, 2, 6, 9, 10].

Zmagania z anomalnymi warunkami złożowymi występującymi w dolomicie głównym (prowadzone z różnym skutkiem) trwają od początku lat 70. ubiegłego wieku. Dowiercanie do dolomitu głównego, w większości przypadków, odbywało się wówczas przy otworze zarurowanym do anhydrytu podstawowego rurami okładzinowymi o średnicy 6 5/8" i użyciu lekkich płuczek o gęstości 1250–1350 kg/m<sup>3</sup>, z możliwością dopływu płynu złożowego do otworu i dużego zagrożenia erupcyjnego [9]. Płuczek o gęstości powyżej 1800 kg/m<sup>3</sup>, wywierających wymagane przeciwcisnienie na złożo o anomalnie wysokim ciśnieniu, w tym okresie jeszcze nie stosowano ze względów oszczędnościowych oraz z uwagi na trudności sporządzenia ciężkiej płuczki galenowej. Zła jakość reologiczna płuczek obciążonych galeną (brak płynności, wytrącanie się galeny, gruboziarnistość zmielonej galeny i jej abrazywność) nie pozwalała na opróbowanie nawierconego poziomu dolomitu głównego przy użyciu rurowych próbników złoża.

Począwszy od końca lat 80. ubiegłego wieku opanowano sporządzanie płuczek o bardzo dużej gęstości wynoszącej nawet 2300–2400 kg/m<sup>3</sup>, posiadających dobre właściwości reologiczne. W tym okresie, dowiercanie i przewiercanie dolomitu głównego realizowano przy ciężarze właściwym płuczki przewyższającym założony gradient ciśnienia złożowego. Umożliwiało to m.in. stosowanie rurowych próbników złoża już na etapie dowiercania, w nieorurowanych odcinkach otworów naftowych.

Niekiedy jednak wielkość planowanego gradientu ciśnienia złożowego dolomitu głównego była zaniżona od faktycznie występującego. W takich przypadkach występowała erupcja wstępna, ze znaczną objętością płynu złożowego dopływającego do otworu wiertniczego. Jeżeli ility plastyczne zalegające nad dolomitem głównym spowodowały uszczelnienie przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego, następowała utrata cyrkulacji płuczki w otworze i brak możliwości skutecznej likwidacji erupcji wstępnej przez zatłoczenie otworu płuczka obciążoną.

W przypadkach gdy płynem złożowym była woda zgazowana z dużą zawartością  $H_2S$  (dochodzącą często do 55%), następowało zwykle pęknięcie rur okładzinowych o średnicy 9 5/8" (postawionych w stropie soli najmłodszej) oraz przewodu wiertniczego. Cechsztyńskie ility plastyczne płynąc do otworu, skutecznie uszczelniały przewód i przestrzeń pierścieniową otworu, zapobiegając przed powstaniem erupcji otwartej. Takie przypadki kończyły się jednak przedwczesną likwidacją otworu wiertniczego [9].

Siarkowódór w środowisku wodnym wykazywał bardzo niszczące działanie na gatunki stali stosowanych rur okładzinowych (P-110, N-80) oraz przewód wiertniczy. Dodawane w późniejszym okresie do płuczki materiały obciążające, trwale wiążące siarkowódór (takie jak fosdalen, feromat, hematyt) neutralizowały dość skutecznie niszczące działanie siarkowodoru. Nawet w przypadku znacznej ilości płynów złożowych (do około 10 m<sup>3</sup>)

dopływających do otworu obudowanego rurami okładzinowymi o średnicy 9 5/8", nie dochodziło do ich uszkodzenia.

Utwory dolomitu głównego swoją różnorodnością stwarzają różny stopień trudności w czasie ich przewiercania i utrzymywania równowagi ciśnień na dnie otworu, zwłaszcza w strefach złożowych o intensywnie rozwiniętych, szczelinowatych właściwościach zbiornikowych oraz znacznym rozwarciu szczelin i gęstości ich występowania. W takich przypadkach, przy niewielkim nadadtku ciśnienia słupa płuczki nad ciśnieniem złożowym (0,5–1 MPa) następują duże zaniki płuczki z utratą jej obiegu włącznie, a warunkach statycznych (bez cyrkulacji lub ciągłego dolewania płuczki do otworu wiertniczego) zachodzi proces migracji węglowodorów w płuczce już w nawierconym systemie szczelin. Powyższe zjawisko powoduje grawitacyjną podmianę części płuczki w otworze na płyn złożowy stwarzając zagrożenie erupcyjne.

W przeszłości jedynym sposobem likwidacji dużych zaników był zabieg wtłaczania na chłonność zaczynów cementowych. W sytuacjach trudnych i skomplikowanych dochodziło do zacementowania przewodu wiertniczego i w konsekwencji, do likwidacji całego otworu lub jego dolnej części. W obecnych czasach w takich przypadkach stosowane są wszelkiego rodzaju specjalne blokatory, które systematycznie dodawane do płuczki obciążonej barytem i wprowadzane kilkakrotnie do strefy zaników płuczki, blokują dość skutecznie szczeliny, zapobiegając katastrofalnej ucieczce płuczki wiertniczej [9].

W przypadku wystąpienia wstępnej erupcji płynu złożowego z dolomitu głównego o dużej szczelinowatości, z uwagi na możliwe duże zaniki płuczki, przywrócenie równowagi ciśnień na dnie otworu wiertniczego przez zatłoczenie go płuczką o większej gęstości zwykle nie było wykonalne. Wówczas zachodziła konieczność wtłoczenia na chłonność do złoża całej objętości płuczki skażonej siarkowodorem, co wiąże się z dużymi kosztami równymi wartości wtłoczonej płuczki.

W trakcie przewiercania utworów dolomitu głównego posiadającego porowe właściwości zbiornikowe nie zachodzą powyżej opisane procesy, gdyż przy stosowaniu płuczek ciężkich następuje kolmatacja skał strefy przyotworowej barytem oraz blokatorami węglanowymi i skuteczna blokada nimi międzyziarnowych kanałów porowych oraz ewentualnie występujących pojedynczych szczelin. W przypadku wystąpienia erupcji wstępnej, z dużym powodzeniem można było przywrócić równowagę ciśnień na dnie otworu znanymi metodami zatłaczania otworu płuczką o większej gęstości [9].

Dużym zagrożeniem (szczególnie w otworach kierunkowych) w czasie przewiercania i opróbowania dolomitu głównego o właściwościach porowych istnieje niebezpieczeństwo przychwycenia (przyklejenia różnicą ciśnień do osadu barytowo-węglanowego) przewodu próbnikowego lub wiertniczego wyposażonego nawet w obciążniki spiralne. Spowodowane jest to w warunkach zbyt grubego (zewnątrznego i wewnętrznego) osadu barytowo-węglanowego utworzonego na ścianie otworu wiertniczego oraz kolmatującego skały strefy przyotworowej. Aby uwolnić przychwyciony przewód, w niektórych przypadkach zachodzi konieczność naruszenia równowagi ciśnień na dnie otworu poprzez wytworzenie niewielkiej depresji ciśnienia, w celu spowodowania minimalnego dopływu płynu ze złoża, co stwarza zagrożenie erupcyjne. Może być stosowany wówczas zabieg uwalniania przychwyconego przewodu przez wtłaczanie słodkiej wody w strefę przychwycenia (wana wodna), bez wytwarzania depresji ciśnienia.

### 3. ANALIZA PRZYCZYN MAŁEJ INTENSYWNOŚCI DOPŁYWU PŁYNU ZŁOŻOWEGO DO OTWORU WIERTNICZEGO DG-2

Dowiercanie dolomitu głównego w otworze DG-2 realizowane było przy użyciu płuczki solno-barytowej o gęstości około  $2000 \text{ kg/m}^3$ , zasoleniu  $320 \text{ g/l}$  i filtracji  $6 \text{ cm}^3$ , z dodatkiem blokatora węglanowego oraz granulowanego. Wartość represji ciśnienia słupa płuczki w otworze wiertniczym w warunkach statycznych na złożę podczas dowiercania była duża i wynosiła  $5,753 \text{ MPa}$ , a podczas krążenia płuczki w otworze wiertniczym lub zapuszczania rur – była jeszcze większa [1].

W czasie dowiercania dolomitu głównego metodą obrotową z zastosowaniem płuczki z dużą zawartością fazy stałej, w skałach zbiornikowych typu porowo-szczelinowego, może nastąpić [3, 6, 10]:

- zatykanie, w mniejszym lub większym stopniu, por, szczelin i mikroszczelin skał zbiornikowych przez cząstki stałe z płuczki (baryt, il, sól, rdza, blokatory i in.);
- przenikanie, mniej lub bardziej głębokie, filtratu płuczki lub zaczynu cementowego w porowo-szczelinowy ośrodek skalny, powodujące: wytrącanie się soli; powstawanie emulsji ropno-wodnej; pęcznienie cząstek ilastych; wytrącanie się związków parafinowych; i in.;
- powstawanie blokady barytowo-węglanowej, w wyniku zgniatania barytu oraz blokatora węglanowego w szczelinach i mikroszczelinach zwierających się i rozwierających pod wpływem zmian ciśnienia płuczki na spodzie otworu wiertniczego, podczas operacji wyciągania oraz zapuszczania przewodu wiertniczego (zwłaszcza podczas rdzeniowania) i w wyniku tego, uszczelnianie barytem oraz blokatorami tych kanałów filtracyjnych;
- dopływ płynu złożowego do otworu wiertniczego szczeliną o nieokreślonej przewodności, która uległa dość głębokiej kolmatacji w procesie dowiercania i opróbowania, a nie została dostatecznie oczyszczona podczas zabiegu kwasowania skał zbiornikowych zastosowaną metodą konwencjonalną;
- wnikanie zaczynu cementowego w przestrzeń porowo-szczelinową skały zbiornikowej, lub szczelin wytworzonych hydraulicznie podczas zapuszczania oraz cementowania eksploatacyjnej kolumny rur okładzinowych.

Analizą stwierdzono, że jedną z głównych przyczyn mało intensywnego przyływu węglowodorów do otworu wiertniczego DG-2 może być tworzenie się w skałach strefy przyotworowej emulsji ropno-wodnej (np. typu ropa-filtrat). Należy jednak brać pod uwagę fakt, że dużym ograniczeniem dla powstawania trwałej, wysoko lepkiej emulsji w skałach strefy przyotworowej, są zapewne występujące w tym otworze wiertniczym takie czynniki jak: wysoka temperatura (około  $110^\circ\text{C}$ ) oraz anomalnie wysoki gradient ciśnienia złożowego ( $0,0181 \text{ MPa/m}$ ). Powstawanie emulsji w strefie przyotworowej potwierdzają wyniki opróbowania RPZ uzyskane w otworze wiertniczym DG-2. Sumaryczna objętość przyływu emulsji ropnej do próbnika wynosiła  $6 \text{ m}^3$  [1].

Emulsja typu ropa-filtrat lub odwrotna filtrat-ropa, powstaje w wyniku wymieszania się dwóch cieczy nie rozpuszczających się w sobie, w środowisku emulgatora, od którego zależy trwałość emulsji [11]. Jedna ciecz (np. ropa) dysperguje w drugiej (np. w filtracie

płuczkowym). W otworze wiertniczym warunki sprzyjające intensywnemu mieszanemu się cieczy w strefie przyotworowej prowadzącego do powstawania emulsji są nieuniknione, gdyż występują one podczas operacji dźwigowych rurami w środowisku płuczki wiertniczej (wymiana świdra lub koronki rdzeniowej, stosowanie próbnika złoża, rurowanie i cementowanie otworu wiertniczego, zbrojenie wgłębne odwiertu, stosowanie elastycznego przewodu – Coiled Tubingu, itp.), podczas których (w wyniku tłokowania) powstają znaczne przyrosty (dodatnie lub ujemne) ciśnienia dennego. Zmiany te są tym większe, im większa jest gęstość, lepkość i początkowe naprężenia stykowe płuczki wiertniczej; większa długość kolumny rur; mniejsze prześwity technologiczne w otworze wiertniczym; oraz większa prędkość zapuszczania rur (przyrosty dodatni) lub ich wyciągania (przyrosty ujemne).

Należy zauważyć, że emulsja jako układ dwóch cieczy, charakteryzuje się conajmniej kilkakrotnie większą lepkością, niż same cieczki składowe, dlatego w ośrodku skalnym (porowo-szczelinowym) emulsja może stwarzać bardzo duże opory hydrauliczne dla przepływu płynu złożowego. Ponadto, oprócz dużej lepkości, posiada ona własności tiksotropowe, tworząc w warunkach statycznych, w kanałach porowo-szczelinowych, mało ruchliwe korki, które utrudniają przepływ ropy do odwiertu.

Stabilność (wytrzymałość na rozbitcie) emulsji zależy od zawartości emulgatorów naturalnych w danej ropy (asfaltenów, smoł, parafin, kwasów naftenowych, porfiryń, cerezynów, ozokerytów metalicznych, związków krzemooorganicznych i in.) oraz wielkości temperatury. Jeżeli zawartość emulgatorów jest niewielka, a temperatura na spodzie otworu wysoka, wówczas emulsja powstała w tych warunkach będzie niestabilna.

Trzeba również zaznaczyć, że w zależności od lepkości emulsji w warunkach złożowych, czas samooczyszczania się skał strefy przyodwiertowej z emulsji może trwać do kilkunastu godzin w przypadku dużej depresji ciśnienia wytworzonej na złożu (np. ok. 30 do 50% wartości ciśnienia złożowego – jak to ma miejsce podczas badania rurowym próbnikiem złoża), do nawet kilku dni – w przypadku kilku procentowej depresji ciśnienia na złożu [7].

Oprócz tego, w wyniku przeprowadzonych prac instrumentacyjnych, mających na celu uwolnienie z przychwycenia dolnej części zestawu próbnikowego (dodatki wyciąganie i zapuszczanie przewodu, praca nożycami hydraulicznymi), występowały dalsze sprzyjające warunki do mieszanego się ropy i filtratu płuczkowego w strefie przyotworowej prowadzącego do powstawania emulsji i blokowania przez nią przepływu węglowodorów. Mogło też dochodzić do zwierania się i rozwierania szczelin oraz mikroszczelin (lub jednej szczeliny wiodącej) w skałach zbiornikowych i tworzenia się blokady barytowo-węglanowej.

W czasie badania warstwy produktywnego rurowym próbnikiem złoża czas trwania przepływu płynu złożowego do próbnika jest ograniczony i może wynosić łącznie do około 1,5 godziny (zwykle nie więcej niż dwie) w przypadku wykonywania próbowania w otworze nieorurowanym oraz kilka godzin w otworze orurowanym. Natomiast wywarcie zbyt dużej depresji ciśnienia na uszczelniaczu i złożu może spowodować przychwycenie próbnika (w otworze nieorurowanym), utratę szczelności zapięcia uszczelnacza oraz zamknięcie się szczelin i mikroszczelin w skałach strefy przyotworowej.

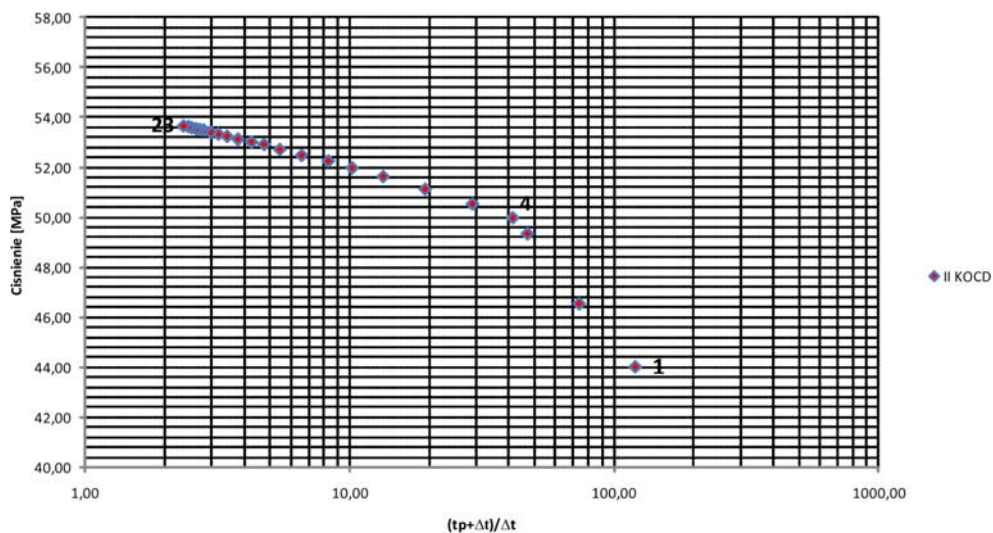
W analizowanym otworze DG-2 wartość początkowej depresji ciśnienia wywieranej na złożu podczas opróbowania RPZ wynosiła około 17,45 MPa, a na uszczelniaczu próbnika: 21,7 MPa.

#### 4. OKREŚLENIE PROMIENIA STREFY PRZYOTWOROWEJ O ZMNIJSZONEJ PRZEPUSZCZALNOŚCI NA PODSTAWIE WYNIKÓW OPRÓBOWANIA RPZ DOLOMITU GŁÓWNEGO W OTWORZE D-2

W nieoruruowanym odcinku otworu DG-2 wyznaczoną strefę złożową dolomitu głównego (3028–3042 m) badano rurowym próbnikiem złoża, uzyskując następujące, istotne informacje o panujących warunkach złożowych [1]:

- Powstawanie emulsji typu ropa-woda (ropa-filtrat) w skałach strefy trzyotworowej,
- Zmiany przepuszczalności skał zbiornikowych w bliskiej i dalszej strefie trzyotworowej,
- Rodzaj budowy złoża, sposób dopływu płynu złożowego do otworu wiertniczego (szczelina o nieokreślonej przewodności oraz brak oddziaływania granic złoża,
- Wielkość parametrów złożowych i właściwości zbiornikowych skał w strefie badanej próbnikiem.

Wykonano udane pod względem technicznym i technologicznym dwucyklowe opróbowanie wyżej wymienionego interwału, otrzymując przyływ nagazowanej emulsji ropnej o wydatku  $2,08 \text{ m}^3/\text{godz}$ . Określona na podstawie wyników drugiego cyklu opróbowania wartość przepuszczalności efektywnej skał wynosi  $1,88 \text{ mD}$ , a efektu naskórka  $S$  (skin efektu) jest ujemna i wynosi:  $S = -0,27$ . Ujemna wartość  $S$  świadczy o polepszeniu przepuszczalności skał zbiornikowych w badanej strefie, a promień strefy badanej próbnikiem wynosi w tym przypadku  $24 \text{ m}$  (dla drugiego cyklu opróbowania).



**Rys. 1.** Wykres drugiej krzywej odbudowy ciśnienia dennego w półlogarytmicznym układzie współrzędnych składający się z dwóch odcinków o różnym nachyleniu, sporządzony na podstawie wyników badań RPZ dolomitu głównego w otworze wiertniczym DG-2; odcinek początkowy (punkty od 1 do 4). Odcinek końcowy (punkty od 4 do 23)

Do obliczania parametrów złożowych wykorzystano (zgodnie z metodą Hornera) końcowy odcinek drugiej odbudowy ciśnienia dennego, o znacznie mniejszym nachyleniu w układzie półlogarytmicznym niż nachylenie odcinka początkowego, toteż określona wartość skin-efektu ( $S = -0,27$ ) odnosi się do strefy bardziej odległej od otworu wiertniczego (o promieniu od 3,5 do 24 m).

Promień bliskiej strefy przyotworowej  $r_z$  o uszkodzonej przepuszczalności skał zbiornikowych można określić na podstawie wartości czasu odbudowy ciśnienia w punkcie przecięcia początkowego oraz końcowego odcinka II krzywej odbudowy w układzie półlogarytmicznym (rys. 1, pkt 4), uwzględniając, że czas przyprływu płynu złożowego w drugim cyklu opróbowania wynosił  $t_p = 168$  min [1].

Wzór na promień bliskiej strefy przyotworowej o zmienionej przepuszczalności skał ma postać [4]:

$$r_z = 2 \cdot \sqrt{\frac{k_1 \cdot \Delta t_z}{f \cdot \mu_{z,r} \cdot c_{r,z}}} \quad (1)$$

gdzie:

$\Delta t_z$  – czas odbudowy określony dla punktu przecięcia rozpatrywanych odcinków (rys.1, punkt 4),  $\Delta t_z = 4$  minuty = 240 [s];

$f$  – współczynnik porowatości skał zbiornikowych w bliskiej strefie przyotworowej, po uwzględnieniu kolmatacji przestrzeni porowej i szczelinowej cząstkami stałymi z płuczki,  $f = 0,05$ ;

$\mu_{z,r}$  – współczynnik lepkości dynamicznej ropy naftowej w warunkach złożowych [1]:  $\mu_{z,r} = 0,292 \cdot 10^{-3}$  [Pa · s];

$c_{r,z}$  – ściśliwość ropy naftowej w warunkach złożowych [1]:  $c_{r,z} = 1,18 \cdot 10^{-9}$  [Pa<sup>-1</sup>];

$k_2$  – współczynnik przepuszczalności skał zbiornikowych określony dla dalszej strefy przyotworowej, określony metodą log-log [1]:  $k_2 = 1,88$  mD =  $1,844 \cdot 10^{-15}$  [m<sup>2</sup>].

Uwzględniając fakt, że przepuszczalność skał jest odwrotnie proporcjonalna do nachylenia krzywej odbudowy ciśnienia dennego (KOCD) w układzie półlogarytmicznym (wg metody Hornera – rys. 1), wartość współczynnika przepuszczalności skał zbiornikowych w bliskiej strefie przyotworowej określono z zależności:

$$k_1 = (m_2 / m_1) \cdot k_2 \quad (2)$$

gdzie:  $m_1$ ,  $m_2$  – nachylenie odpowiednio początkowego i końcowego odcinka krzywej odbudowy w układzie półlogarytmicznym.

Wartość nachylenia prostej (współczynnika kierunkowego prostej) jest ilorazem różnicy rzędnych ( $y$ ) oraz odciętych ( $x$ ) dwu punktów leżących na tej prostej:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (3)$$

Wartości nachyleń  $m_1$  i  $m_2$  określono na podstawie reinterpretacji rozkładu punktów II-giej KOCD w układzie półlogarytmicznym, uwzględniając ilorazy różnicy rzędnych oraz odciętych punktów odpowiednich dla rozpatrywanego cyklu logarytmicznego (rys. 1):

$$m = \frac{p_2 - p_1}{\log\left(\frac{t_p - \Delta t}{\Delta t}\right)_2 - \log\left(\frac{t_p - \Delta t}{\Delta t}\right)_1} \quad (4)$$

gdzie:

- a) dla początkowego odcinka:  $p_1$  i  $p_2$  – wartość ciśnienia w punktach przecięcia odpowiednio:
  - 1) tego odcinka z linią cyklu logarytmicznego o wartości  $\log 100$ ,
  - 2) przedłużenia tego odcinka z linią o wartości  $\log 10$ ;
- b) dla końcowego odcinka:  $p_1$  i  $p_2$  – wartość ciśnienia w punktach przecięcia odpowiednio:
  - 1) tego odcinka z linią cyklu logarytmicznego o wartości  $\log 10$ ,
  - 2) przedłużenia tego odcinka z linią o wartości  $\log 1$ .

Dla początkowego odcinka otrzymano:

$$m_1 = \frac{58 - 45}{\log 100 - \log 10} = \frac{13}{3 - 2} = 13 \text{ MPa/cykl-log,}$$

a dla końcowego odcinka otrzymano:

$$m_2 = \frac{54,6 - 52}{\log 10 - \log 1} = \frac{2,6}{1 - 0} = 2,6 \text{ MPa/cykl-log.}$$

Podstawiając otrzymane wartości  $m_1$  i  $m_2$  do wzoru (2), otrzymano wartość przepuszczalności skał zbiornikowych w strefie uszkodzonej  $k_1 = 0,37 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2$ .

Obliczona wzorem (1), dla przyjętej porowatości skał zbiornikowych w strefie przyotworowej wynoszącej  $f = 0,05$ , wartość promienia bliskiej (uszkodzonej) strefy przyotworowej wynosi  $r_z = 3,6$  [m]. Przyjmując, że porowatość skał w bliskiej strefie przyotworowej, w wyniku ich kolmatacji, jest jeszcze mniejsza i wynosi  $f = 0,02$ , wówczas wartość promienia strefy o zmniejszonej przepuszczalności wynosi  $r_z = 5,7$  m. Natomiast w dalszej strefie przyotworowej stwierdzono znacznie większą, nieco polepszoną w porównaniu do pierwotnej, przepuszczalność skał zbiornikowych, wynoszącą  $k_2 = 1,844 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2$  (1,88 mD).



## 5. WNIOSKI KOŃCOWE

- 1) Występujące w dolomicie głównym anomalne warunki złożowe znacznie utrudniają wykonanie bezawaryjnego dowiercania i opróbowania skał zbiornikowych oraz zmniejszają efektywność stosowanych zabiegów intensyfikacji dopływu węglowodorów do odwiertów.
- 2) Podczas dowiercania dolomitu głównego otworem DG-2, aby uniknąć erupcji płynu złożowego, stosowano celową kolmatację skał zbiornikowych bliskiej strefy przyotworowej blokatorami węglanowymi i barytem, a następnie wykonano oczyszczanie tej strefy poprzez kwasowanie skał, używając do tego celu około 20 m<sup>3</sup> 15%-owego, wodnego roztworu kwasu solnego z dodatkiem kwasu octowego i innych substancji o specjalnym przeznaczeniu [1].
- 3) Stwierdzona RPZ w otworze wiertniczym DG-2 możliwość tworzenia się emulsji typu ropa – filtrat płuczkowy stanowi podstawę do wnioskowania, że stanowi ona dodatkowe poważne utrudnienie dla dopływu węglowodorów do otworu tak podczas opróbowania, jak też eksploatacji złoża.
- 4) Obliczona na podstawie wyników badań RPZ wartość promienia bliskiej strefy przyotworowej, wynosząca od około 3 do 6 m wskazuje, że mała skuteczność zabiegu kwasowania może wynikać z faktu, że promień strefy objętej tym zabiegiem był mniejszy od promienia strefy kolmatacji skał. Wskazuje to na konieczność stosowania większych niż dotychczas objętości cieczy kwasującej lub wykonania selektywnego kwasowania, albo też zastosowania hydraulicznego szczelinowania skał przed wyposażeniem odwiertu w zestaw wydobywczy.

## LITERATURA

- [1] *Dokumentacja geologiczno-wiertnicza dotycząca odwiertu DG-2*, PGNiG, Warszawa, 1998–2008.
- [2] Dubiel S.: *Dobór parametrów technologii opróbowania na przykładzie poziomu dolomitu głównego*, Technika Poszukiwań Geologicznych, Geosynoptyka i Geotermia, nr 3, 1989.
- [3] Dubiel S., Chrzęszcz W.: *Niektóre problemy dowiercania złóż ropy naftowej i gazu ziemnego*, Skrypty Uczelniane AGH, nr 681, Kraków 1979.
- [4] Dubiel S., Chrzęszcz W., Rzyczniak M.: *Problemy opróbowania warstw perspektywicznych rurowymi próbnikami złoża*, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2003.
- [5] Dubiel S., Rzyczniak M., Wójtowicz T. i in.: *Analiza i interpretacja wyników opróbowania rurowymi próbnikami złoża poziomów perspektywicznych w obszarze Przedgórze Karpat i w Karpatach z wykorzystaniem systemu komputerowego „Saphir” francuskiej firmy Kappa, wykonanych przez ZPNiG Kraków w 1997 roku*, WWNiG AGH, Kraków 1997 (praca niepublikowana).

- [6] Dubiel S., Chrząszcz W., Wybudowski W. i in.: *Analiza warunków przewiercania i opróbowania poziomu dolomitu głównego*, Technika Poszukiwań Geologicznych, Geosynoptyka i Geotermia, nr 3–4, 1989.
- [7] Jegier J., Dubiel S.: *Określanie czasu oczyszczania się strefy przyotworowej z wodno-ropnej emulsji*, *Górnictwo*, 2/1, 1978.
- [8] *Oprogramowanie interpretacji testów otworowych firmy Kappa*, Kraków OZPNiG 1993–1995.
- [9] Skoczeń B.: *Doświadczenia w czasie dowiercania dolomitu głównego*, PNiG „Nafta” Sp. z o.o. w Pile, Piła 2002 (praca niepublikowana).
- [10] Szostak L., Dubiel S., Rzyczyński M.: *Problemy dowiercania i opróbowania dolomitu głównego oraz intensyfikacji przyływu płynów złożowych*, *Gospodarka Surowcami Energetycznymi*. PAN, z. 3–4, 1992.
- [11] Twardowski K., Traple J.: *Przeływy emulsji wodno-ropnych w ośrodkach porowatych*, *Wiertnictwo, Nafta, Gaz*, Tom 25, Zeszyt 1, 2008.