

Stanisław Dubiel*, Adam Zubrzycki*

**ANALIZA WARUNKÓW
GEOLOGICZNYCH ORAZ TECHNOLOGICZNYCH
POD KĄTEM POZARUROWYCH ERUPCJI GAZU ZIEMNEGO
W REJONIE KARPAT I ICH PRZEDGÓRZA****

1. WSTĘP

Występujące zjawiska pozarurowych względnie pozaodwiertowych przepływów gazu ziemnego po cementowaniu rur okładzinowych w otworach wiertniczych dowodzą, że uszczelnienie rur okładzinowych cementem niekiedy bywa nieskuteczne [8, 9, 11, 12, 13]. Zjawiska te mogą jednak być spowodowane także innymi przyczynami, a zwłaszcza niezamierzonym szczelinowaniem hydraulicznym skał poniżej buta ostatniej kolumny rur okładzinowych, spowodowanym zbyt długim opóźnieniem w usuwaniu poduszki gazu z otworu wiertniczego, lub też stosowaniem niewłaściwej technologii likwidacji erupcji wstępnej, a także zbyt szybkim opuszczaniem kolumn rur w otworach wiertniczych [1, 2, 3, 6]. Wówczas pozarurowe przepływy gazu ziemnego mogą powstać zarówno poza kolumną przewodnikową (np. zbyt płytko posadowioną) oraz kolumnami: techniczną i eksploatacyjną, jak też i kolumną rur traconych. Sprzyja to nagromadzeniu się gazu w wyżej leżących warstwach skał przepuszczalnych (tworzenie się złoża wtórnego). Jak dowodzi praktyka przemysłowa, tego typu zagrożenia stwierdzono m.in. w Karpatach na złożach: Przemyśl, Rzeszów, Lubaczów, Jodłówka, Słonne i innych [8, 9]. Zależnie od sytuacji, zjawiska pozarurowych przepływów mogą pojawić się w postaci: erupcji gazu ziemnego, migracji gazu na powierzchnię spoza kolumny rur (ekshalacje powierzchniowe), przepływów międzywarstwowych i powstawania wtórnych nagromadzeń gazu w skałach porowatych i przepuszczalnych oraz wzrostu ciśnienia w przestrzeni międzyrurowej na skutek powstania w niej poduszki gazu. Wywołane przez te zjawiska zagrożenia dla ludzi i obiektów na powierzchni terenu, szkody dla środowiska naturalnego, duże nakłady na prace rekonstrukcyjne odwiertów, oraz nieodwracalne straty zasobów gazu ziemnego, stanowią o koniecz-

* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Praca wykonana w ramach badań własnych Katedry Złóż Węglowodorów i Kształtowania Środowiska

ności badań laboratoryjnych i terenowych oraz analizy przyczyn tego zjawiska, a także jego prognozowania i starannego doboru metody likwidacji erupcji wstępnej [14].

Pozarurowe lub pozaodwiertowe migracje gazu ziemnego to zjawiska niekontrolowane, występujące najczęściej na terenie złóż węglowodorów, a dość często (w wyniku poziomej i pionowej migracji gazu w górotworze), także poza tym terenem. W rejonach intensywnych poszukiwań i eksploatacji złóż gazu ziemnego w warstwach zalegających nad złożem występuje tzw. tło gazowe, a obecność lekkich węglowodorów (metan, etan) stwierdza się w studniach wód pitnych, w piwnicach, kanalizacji, w warstwach wód gruntowych oraz w powietrzu glebowym. Obecność metanu i węglowodorów cięższych od niego, a także siarkowodoru w powietrzu glebowym powoduje obniżenie jakości płodów rolnych [5].

2. WPLYW CIŚNIENIA SZCZELINOWANIA HYDRAULICZNEGO SKAŁ NA POWSTAWANIE ERUPCJI POZARUROWYCH

Jednym z podstawowych parametrów charakteryzujących poszczególne warstwy skał w profilu odwiertu jest ciśnienie hydraulicznego szczelinowania skał, które zależy od rodzaju skały, ciśnienia geostatycznego i ciśnienia złożowego. Szczelinowanie hydrauliczne skał zachodzi wtedy, gdy ciśnienie płynu zatłaczanego w skałę jest większe od jednego z naprężeń głównych występujących w górotworze (σ_1 – naprężenie pionowe, σ_2, σ_3 – naprężenia boczne), a płaszczyzna szczelinowania skały jest prostopadła do kierunku działania tego naprężenia minimalnego [4]. Dlatego uzasadnione jest rozróżnienie między ciśnieniem szczelinowania, przy którym powstaje szczelina w całej skałce, a ciśnieniem chłonności, przy którym następuje rozszerzenie już istniejących szczelin.

Ciśnienie geostatyczne (p_g), powodujące całkowite naprężenie pionowe, jest równe sumie ciśnienia porowego (lub złożowego) i efektywnych naprężeń pionowych działających na szkielet skały. Eaton przyjął [4], że odkształcenia w skałach zbiornikowych węglowodorów mają charakter sprężysty i podał następujący wzór na obliczanie ciśnienia szczelinowania skał (p_{sz})

$$p_{sz} = \frac{\nu}{1-\nu}(p_g - p_z) + p_z, \quad \text{Pa} \quad (1)$$

gdzie:

- p_g i p_z – ciśnienie odpowiednio geostatyczne i złożowe (lub porowe), Pa;
- $(p_g - p_z)$ – efektywne naprężenie pionowe w szkielecie skały, Pa;
- ν – współczynnik (liczba) Poissona.

W praktyce wiertniczej zmiany ciśnienia geostatycznego w funkcji głębokości można wyznaczyć wykorzystując dane z profilowania gęstościowego (density log). Natomiast prognozowanie wartości ciśnienia szczelinowania można realizować w oparciu o profilowania akustyczne przy wykorzystaniu modelu Biota [9, 12].

2.1. Niebezpieczny wzrost ciśnienia dennego podczas likwidacji erupcji wstępnej

Pod pojęciem erupcji należy rozumieć każdy, co do intensywności, niekontrolowany przepływ płynu złożowego do otworu, a w dalszej kolejności jego wypływ na powierzchnię lub przepływ do wyżej leżącej warstwy chłonnej (erupcja podziemna), który wystąpił

w wyniku niedoboru ciśnienia dennego w stosunku do ciśnienia złożowego. Wyróżnia się następujące fazy erupcji: wstępną, rozwiniętą, podziemną i otwartą.

Intensywność erupcji wstępnej, a tym samym wielkość strumienia przyływu płynu złożowego do otworu ma bezpośredni wpływ na wielkość ciśnienia w przestrzeni pierścieniowej otworu, w momencie wyłaczania tego płynu na powierzchnię. Wartość ciśnienia zarejestrowanego w przestrzeni pierścieniowej, w momencie odpuszczania gazu w atmosferę, zwiększa się wraz ze wzrostem objętości gazu, który dopłynął do otworu. Zwiększa się tym samym niebezpieczeństwo szczelinowania hydraulicznego skał w nieorurowanym odcinku otworu wiertniczego. Przyrost objętości płuczki w zbiornikach roboczych powyżej 5 m^3 prowadzi do erupcji rozwiniętej, która w wielu przypadkach może przerodzić się w erupcję otwartą związaną z nieopanowanym wypływem gazu ziemnego z otworu wiertniczego. Stosowana powszechnie w analizowanych obszarach poszukiwań naftowych metoda wiertacza jest najprostszą, lecz najbardziej niebezpieczną w porównaniu do pozostałych metod, ponieważ przy tej metodzie możliwe jest wystąpienie najwyższego ciśnienia dennego podczas usuwania gazu ziemnego w pierwszym etapie tej metody, mogący doprowadzić do hydraulicznego szczelinowania skał i erupcji pozarurowej [14].

2.2. Niebezpieczny wzrost ciśnienia dennego podczas zapuszczania rur do otworu wiertniczego

Podczas zapuszczania przewodu wiertniczego lub rur okładzinowych o średnicy (odpowiednio d_z lub D_z) do otworu wiertniczego o średnicy (D_o) wypełnionego płuczka następuje wzrost ciśnienia słupa płuczki w przestrzeni pierścieniowej otworu. Wzrost ten jest proporcjonalny do długości kolumny rur (L), lepkości plastycznej płuczki (η_p) i rzeczywistej granicy płynięcia (τ_o) oraz prędkości zapuszczania kolumny (v_r), a odwrotnie proporcjonalny do przeswitu między rurami i ścianą otworu ($D_o - D_z$). Przy czym wypieranie płuczki z otworu wiertniczego przez zapuszczane rury może mieć charakter laminarny lub turbulentny. Przykładowo obliczono [6], że w przypadku laminarnego wypierania płuczki, gdy v_r zmienia się od 0,1 do 1,1 m/s, dla danych: $L = 2200 \text{ m}$; $\eta_p = 0,015 \text{ Pa}\cdot\text{s}$; $\tau_o = 10,5 \text{ N/m}^2$; $D_o = 0,216 \text{ m}$; $D_z = 0,1683 \text{ m}$, przyrost ciśnienia płuczki w przestrzeni pierścieniowej otworu zmienia się w przedziale: 0,9 do 1,65 MPa.

Przyrost ciśnienia słupa płuczki podczas zapuszczania rur może spowodować wzrost ciśnienia dennego do wartości większej niż wartość ciśnienia szczelinowania skał zalegających pod butem ostatniej kolumny rur okładzinowych i wówczas nastąpi hydrauliczne szczelinowanie skał płuczka. Jeżeli szczelinowaniu ulegną skały gazo- lub roponośne, wówczas powstać mogą sprzyjające warunki do pozarurowej erupcji lub migracji gazu ziemnego, a także ucieczki płuczki.

Przykładowo, dla warunków dowiercania warstw perspektywicznych w obszarze przedgórza Karpat, określono następujące wartości gradientów ciśnień (odpowiednio geostatycznego, szczelinowania, dennego – podczas zapuszczania przewodu, złożowego oraz dennego – podczas wyciągania przewodu w [MPa/m]) [3]:

- dla miocenu: $G_g = 0,0235$; $G_{sz} = 0,01288$; $G_{dz} = 0,01297$; $G_z = 0,009343$; $G_{dw} = 0,01021$;
- dla kredy: $G_g = 0,02467$; $G_{sz} = 0,0118$; $G_{dz} = 0,01296$; $G_z = 0,0815$; $G_{dw} = 0,01038$;
- dla jury: $G_g = 0,02472$; $G_{sz} = 0,01366$; $G_{dz} = 0,01211$; $G_z = 0,009683$; $G_{dw} = 0,009472$.

W przypadku dowiercania skał zbiornikowych miocenu oraz kredy istnieje duże niebezpieczeństwo hydraulicznego szczelinowania skał i ucieczki płuczki w te skały, zwłaszcza podczas zapuszczania przewodu z prędkością większą niż 1,5 m/s z zamkniętym dolnym końcem. Natomiast w przypadku skał zbiornikowych jury istnieje niebezpieczeństwo erupcji płynu złożowego z otworu podczas wyciągania przewodu z prędkością większą niż 1,5 m/s z zamkniętym dolnym końcem [2, 3].

2.3. Niebezpieczny wzrost ciśnienia dennego podczas zatłaczania zaczynu cementowego poza rury okładzinowe

Ciśnienie szczelinowania skał jest parametrem ograniczającym gęstość zaczynu cementowego i determinuje technologię uszczelniania rur okładzinowych. Mianowicie przeciwcisnienie wywierane przez słupy przetłaczanych płynów w przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego podczas cementowania rur okładzinowych nie może przekraczać ciśnienia szczelinowania skał warstwy w uszczelnianym interwale. Rozwiązanie problemu może polegać na stosowaniu cementowania dwu lub trójstopniowego, zmniejszeniu gęstości zaczynu oraz zwiększaniu prześwitów technologicznych i wykorzystaniu innych rozwiązań nie stosowanych dotychczas w Karpatach i ich przedgórzu [9, 11, 12, 13].

Nie przestrzeganie wartości tego ciśnienia mogło w przeszłości doprowadzić w analizowanych obszarach poszukiwań naftowych do ucieczek płuczki lub zaczynu cementowego oraz do erupcji pozarurowej. W danym rejonie wiercenia gradient ciśnienia szczelinowania jest dla danej warstwy wielkością stałą. Tak więc, aby nie doszło do szczelinowania skał poza rurami okładzinowymi, gradient sumarycznego ciśnienia hydrostatycznego słupa zaczynu i strat ciśnienia na pokonanie oporów jego przepływu w przestrzeni pierścieniowej otworu nie może być większy niż gradient ciśnienia szczelinowania skał danej warstwy.

3. WPLYW CIŚNIENIA ZŁOŻOWEGO NA POWSTAWANIE ERUPCJI POZARUROWYCH

Ciśnienie złożowe ma decydujący wpływ na powstawanie i stopień zagrożenia erupcyjnego. Gradient tego ciśnienia może mieć wartość anomalnie niską (mniejszą od 0,01 MPa/m), normalną (od 0,01 do 0,0128 MPa/m) i anomalnie wysoką (większą od 0,0128 MPa/m) [1]. W procesie dowiercania złóż węglowodorów ciśnienie złożowe można określić na podstawie: profilowania mechanicznej prędkości wiercenia; danych z erupcji wstępnej; badań rurowym próbnikiem złoża.

Na podstawie profilowania mechanicznej prędkości wiercenia sporządza się wykres przedstawiony na rysunku 1.

Zgodnie z wynikami badań K. Terzagiego dotyczącymi kompaktacji skał [2], efektywne naprężenie w szkielecie skały σ_s , przekazywane przez kontakt między ziarnami skały, jest jednakowe na głębokościach H_A i H_B (rys. 1), a wartość tego naprężenia na głębokości H_B wyraża się wzorem

$$\sigma_{sB} = P_{gB} - P_{zB} \quad (2)$$

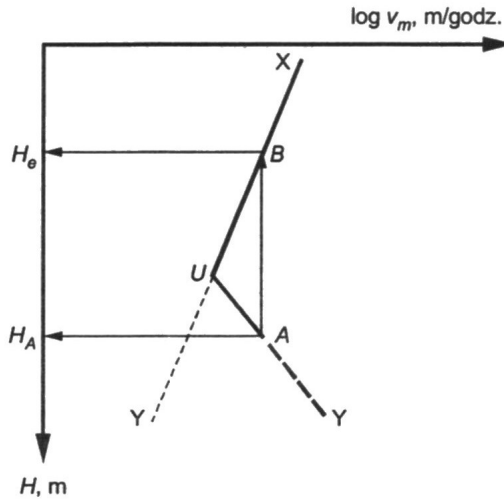
gdzie:

P_{gB} , P_{zB} – ciśnienie odpowiednio geostatyczne i złożowe (porowe) na głębokości H_B , Pa;
 σ_s – efektywne naprężenie w szkielecie skały zbiornikowej, Pa.

Ponieważ $\sigma_{sB} = \sigma_{sA}$ zatem znając ciśnienie geostatyczne p_{gA} na głębokości H_A , można prognozować wartość ciśnienia złożowego na tej głębokości korzystając z wzoru:

$$P_{zA} = P_{gA} - \sigma_{sB} \quad \text{lub} \quad P_{zA} = P_{zB} + P_{gA} - P_{gB} \quad (3)$$

Wzór (3) umożliwia prognozowanie anomalnie wysokich ciśnień złożowych [2, 10] i nie miał dotychczas większego zastosowania w Karpatach i ich przedgórzu.



Rys. 1. Schemat określania wartości ciśnienia złożowego metodą ekwiwalentnych głębokości H_A i H_B . XU – linia trendu spadku prędkości wiercenia w strefie normalnej kompaktacji skał; UY – linia trendu wzrostu prędkości wiercenia w strefie dekompaktacji skał [2]

Na podstawie danych z erupcji wstępnej wartość ciśnienia złożowego p_z można obliczyć korzystając ze wzoru:

$$P_z = P_{zcp} + H \cdot \gamma_{p1} \quad (4)$$

gdzie:

P_{zcp} – zarejestrowana, wg obowiązującej procedury [14], wartość ciśnienia ustabilizowanego w przewodzie zaraz po zamknięciu głowicy przeciwerupcyjnej, gdy poduszka gazu jest na dnie otworu, [Pa];

H – głębokość otworu wiertniczego, [m];

γ_{p1} – ciężar właściwy płuczki obiegowej, [N/m^3].

Ze względu na zbyt duże wartości gradientu ciśnień hydrostatycznych płuczek wiertniczych w porównaniu do stosunkowo niskich wartości gradientu ciśnień złożowych miocenu, jury i fliszu karpackiego, omawiany sposób określania ciśnienia złożowego nie miał praktycznego zastosowania. Między innymi już w latach 50. XX wieku próbowano ocenić wartość gradientu ciśnienia złożowego dla utworów kredy w rejonie Słonnego na podstawie obserwacji ciśnienia głowicowego (w odwiertach S-9; S-10; S-12), uzyskując ano-

malnie wysokie wartości tego gradientu (od ok. 0,0148 do 0,0168 MPa/m). Jednak z powodu dopływu silnie nagazowanej wody złożowej nie udało się zachować ścisłej procedury obserwacji i rejestracji ciśnienia głowicowego. W takim przypadku wzrost ciśnienia głowicowego spowodowany migracją gazu przez słup cieczy w przestrzeni pierścieniowej powinien być pominięty przy określaniu ciśnienia stabilizującego otwór po jego zamknięciu (p_{zcp}). Z tego względu uzyskano znacznie zawyżone wyniki obliczeń. Odwierty naftowe wykonane w rejonie Słonnego stanowią bardzo duże zagrożenie dla środowiska naturalnego spowodowane pozarurową oraz pozaodwiertową migracją gazu ziemnego [8].

Na podstawie wyników badań rurowymi próbnikami złoża warstw perspektywicznych miocenu, jury i fliszu w Karpatach oraz miocenu, jury i kredy na przedgórzu Karpat, możliwe było określenie wartości ciśnienia złożowego, stosując interpretację krzywych odbudowy ciśnienia dennego metodą Hornera lub metodą log-log [7].

Skompletowano odpowiednie zbiory danych, dotyczące zależności ciśnienia złożowego (p_z) w funkcji głębokości zalegania stropu badanego poziomu (H_s). W wyniku wstępnej oceny danych empirycznych, na podstawie wykresów punktów, dla rozpatrywanej zależności dobrano model liniowy mający postać: $y = ax + b$ oraz oszacowano współczynniki regresji a i b metodą najmniejszych kwadratów. Porównując obliczoną wartość współczynnika korelacji r z wartością krytyczną r_{α} odczytaną z tablic statystycznych, dla uwzględnionego poziomu istotności $\alpha = 0,05$ oraz stopnia swobody $N - 1$ (przy czym N oznacza liczbę pomiarów próbnikiem) stwierdzono, że model ten dobrze nadaje się do prognozowania wartości p_z , przy zadanej wartości H_s , z wykorzystaniem równań regresji liniowej (tab. 1).

Tabela 1

Zestawienie równań regresji liniowej i współczynników korelacji zależności $p_z = f(H_s)$ wyznaczonych metodami analizy statystycznej na podstawie wyników próbowań miocenu, jury, kredy i fliszu

Lp.	Obszar i poziom stratygraficzny	Stopień swobody	Współczynnik korelacji		Równanie regresji liniowej P_z w [MPa]; H_s w [m]	Prognoza p_z w [MPa], dla $H_s=1000$ [m]
		$N - 1$	r	$r_{0,05}$		
1	Karpaty i ich przedgórze-miocen	91	0,8555	0,2050	$P_z=0,01049 \cdot H_s - 0,8851$ H_s należy do zbioru [200;3900]	9,605
2	Karpaty i ich przedgórze-jura	34	0,9689	0,3246	$P_z=0,009996 \cdot H_s + 0,2944$ H_s należy do zbioru [800;3200]	10,29
3	Karpaty – flisz	17	0,9419	0,4555	$P_z=0,01403 \cdot H_s - 6,175$ H_s należy do zbioru [400;4900]	7,855
4	Przedgórze Karpat-miocen	101	0,9802	0,1946	$P_z=0,01037 \cdot H_s - 0,58147$ H_s należy do zbioru [180; 3150]	9,789
5	Przedgórze Karpat-kreda	15	0,9928	0,4973	$P_z=0,00909 \cdot H_s - 1,03156$ H_s należy do zbioru [600;2350]	8,058
6	Przedgórze Karpat-jura	108	0,9848	0,1920	$P_z=0,0979 \cdot H_s - 0,17116$ H_s należy do zbioru [400;3050]	9,62

Na tej podstawie skompletowano odpowiednie zbiory danych, dotyczące zależności ciśnienia złożowego (p_z) w funkcji głębokości zalegania stropu badanego poziomu (H_s). W wyniku wstępnej oceny danych empirycznych, na podstawie wykresów punktów, dla rozpatrywanej zależności dobrano model liniowy mający postać: $y = ax + b$ oraz oszacowano współczynniki regresji a i b metodą najmniejszych kwadratów. Porównując obliczoną wartość współczynnika korelacji r z wartością krytyczną r_α odczytaną z tablic statystycznych, dla uwzględnionego poziomu istotności $\alpha = 0,05$ oraz stopnia swobody $N - 1$ (przy czym N oznacza liczbę pomiarów próbnikiem) stwierdzono, że model ten dobrze nadaje się do prognozowania wartości p_z , przy zadanej wartości H_s , z wykorzystaniem równań regresji liniowej (tab. 1). Dla przykładu, w ostatniej kolumnie tabeli 1 podano prognozowane wartości ciśnień złożowych odnośnie poszczególnych poziomów stratygraficznych, przy założonej głębokości zalegania stropu tych poziomów $H_s = 1000$ m.

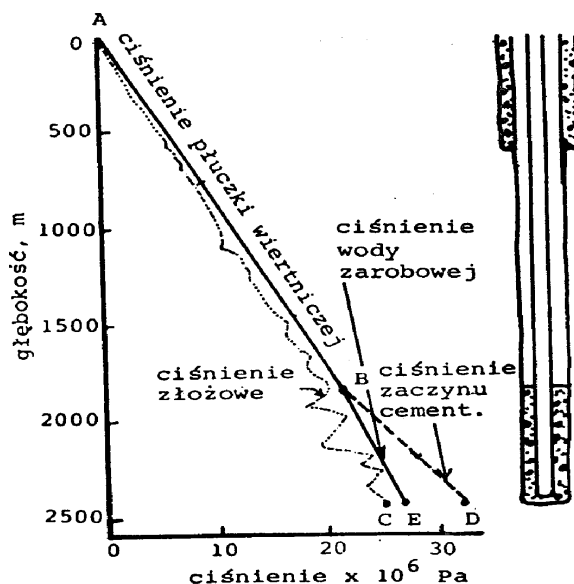
3.1. Wykrywanie zagrożenia pozarurowych przepływów gazu ziemnego podczas projektowania zabiegu cementowania rur okładzinowych

Graficzny sposób wykrywania możliwości powstania poza rurowych przepływów gazu ziemnego oparty jest o znajomość wartości ciśnienia złożowego i został opracowany przy uwzględnieniu następujących założeń [11]:

- ciśnienie hydrostatyczne wywierane przez słup zaczynu cementowego w początkowym okresie hydratacji do momentu osiągnięcia umownego początku wiązania, odpowiada gęstości wody zarobowej tego zaczynu;
- po osiągnięciu umownego początku wiązania, zaczyn cementowy uzyskuje dostateczną wytrzymałość przeciwdziałając przepływowi gazu ziemnego.

Konstrukcje wykresu wykonuje się w układzie współrzędnych głębokość-ciśnienie (rys. 2). Kreśli się linię ciśnienia hydrostatycznego słupa cieczy (płuczka + zaczyn cementowy) znajdujących się w przestrzeni pierścieniowej otworu przyjmując, że ciśnienie hydrostatyczne słupa zaczynu cementowego odpowiada gęstości wody zarobowej. Uzyskuje się w ten sposób krzywą skorygowanego ciśnienia hydrostatycznego (linia ABE na rys. 2). Na tym samym wykresie nanosi się znane wartości ciśnienia złożowego i wykreśla się krzywą ciśnienia złożowego (linia AC). Naprzeciw skali głębokości na rysunku 2 zamieszczono szkic otworu z zaznaczeniem projektowanej wysokości słupa zaczynu cementowego poza rurami oraz głębokości zapuszczonych rur okładzinowych. Różnice w wartości ciśnień wyrażonych krzywymi ABE i AC wskazują na stopień nadwyżki czy obniżki zaistniałej między ciśnieniem hydrostatycznym a ciśnieniem złożowym.

Jeżeli w wyniku przeprowadzonej analizy graficznej zostanie ujawniona możliwość przepływu gazu ziemnego przez zacementowaną przestrzeń pierścieniową otworu, czyli gdy ciśnienie złożowe (linia AC) jest większe od ciśnienia hydrostatycznego cieczy (linia ABE), wówczas rozważa się stopniowanie różnych przedsięwzięć profilaktycznych. Należy do nich minimalizowanie wysokości słupa zaczynu cementowego, wytworzenie przeciwcisnienia w przestrzeni pierścieniowej otworu, zwiększenie gęstości płuczki znajdującej się powyżej słupa zaczynu cementowego, regulacja czasu wiązania zaczynu, wykonanie cementowania wielostopniowego, zwiększenie gęstości wody zarobowej zaczynu cementowego, czy też modyfikowanie składu zaczynów cementowych [9, 11, 12].



Rys. 2. Graficzny sposób wykrywania możliwości pozarurowych przepływów gazu [11]
 ABD – gradient ciśnienia hydrostatycznego słupa płuczki i zaczynu w chwili zakończenia zabiegu cementowania, ABE – gradient ciśnienia hydrostatycznego słupa płuczki i zaczynu w początkowym okresie wiązania zaczynu, AC – gradient ciśnienia złożowego (porowego)

4. WNIOSKI KOŃCOWE

- 1) Występowanie erupcji wiertniczych i pozarurowych przepływów gazu ziemnego stanowi poważne zagrożenie dla środowiska naturalnego, a także złóż węglowodorów. W Karpatach i na ich przedgórzu pozarurowe oraz pozaodwiertowe przepływy gazu ziemnego notowane są ciągle mimo znacznego wzrostu postępu technicznego w wiertnictwie naftowym.
- 2) Pozarurowe przepływy gazu ziemnego są spowodowane: a) czynnikami geologicznymi takimi jak: rodzaj skał zbiornikowych i skał nadkładu; wartość ciśnienia szczelinowania i ciśnienia złożowego względnie porowego oraz b) czynnikami technologicznymi, takimi jak: głębokość posadowienia kolumny przewodnikowej; zmiany ciśnienia dennego spowodowane tłokowaniem rurami wiertniczymi w otworze; wykrywanie i metoda likwidacji erupcji wstępnej; projektowanie i wykonywanie zabiegu cementowania rur okładzinowych.
- 3) Podane w publikacji wyniki analizy umożliwiają przewidywanie niebezpiecznych warunków geologicznych oraz projektowanie korzystnych rozwiązań technologicznych.
- 4) Wyznaczone równania regresji liniowej (tab. 1) umożliwiają prognozowanie wartości ciśnień złożowych dla analizowanych poziomów stratygraficznych w omawianym obszarze poszukiwań naftowych, a tym samym odpowiedni dobór ciśnienia hydrostatycznego oraz hydrodynamicznego słupów płynów wiertniczych w otworze.

- 5) Przedstawiony graficzny sposób projektowania skorygowanego ciśnienia hydrostatycznego w odwiercie podczas cementowania rur okładzinowych umożliwia przewidywanie warunków, w których zaistnieć może pozarurowy przepływ gazu i podjęcie środków zaradczych.

LITERATURA

- [1] Dubiel S., Bukalski P.: *Bezpieczeństwo dowiercania złóż węglowodorów w regulacjach prawnych*. Miesięcznik WUG – Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, nr 10, 2007
- [2] Dubiel S., Chrząszcz W., Rzyczniak M.: *Problemy dowiercania warstw perspektywicznych w otworach naftowych*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków, 2001
- [3] Dubiel S., Chrząszcz W., Rzyczniak M.: *Analiza zmian ciśnień w otworach naftowych podczas dowiercania warstw perspektywicznych w obszarze Przedgórze Karpat*. Wiertnictwo, Nafta, Gaz (rocznik AGH), 18/1, 2001
- [4] Dubiel S., Mbodj M.B.: *Przegląd metod oceny ciśnienia szczelinowania skał*. Wiertnictwo, Nafta, Gaz (rocznik AGH), t. 15, 1998
- [5] Dubiel S., Macuda J., Jamrozik A.: *Ocena wpływu technologii stosowanych w wiertnictwie naftowym na środowisko gruntowo-wodne*. Wiertnictwo, Nafta, Gaz (rocznik AGH), t. 20/2, 2003
- [6] Dubiel S., Ziaja J.: *Awarie i komplikacje wiertnicze z kolumnami rur traconych*. Wiertnictwo, Nafta, Gaz (rocznik AGH), 18, 2001
- [7] Dubiel S. i in.: *Analiza i interpretacja wyników opróbowań rurowymi próbnikami złoża poziomów perspektywicznych w obszarze przedgórze Karpat i w Karpatach, z wykorzystaniem systemu komputerowego Saphir firmy Kappa, wykonanych przez ZPNiG Kraków*. Praca niepublikowana. Wydział WNiG AGH Kraków, 1996–1998
- [8] Dudek J.: *Analiza i ocena stanu zagrożenia gazowego, środowiska i bezpieczeństwa w rejonie Słonnego*. Zespół Rzeczoznawców SITPniG, Kraków 1994
- [9] Herman Z., Witek W.: *Przyczyny powstawania i zapobieganie ekshalacjom gazu ziemnego na obszarze południowo-wschodniej części Karpat i przedgórze Karpat*. VII Międzynarodowa Konf. Naukowo-Techniczna, AGH, Wydział WNiG, Kraków 1997
- [10] Law B.E., Ulmishek G.F., Slavin V.I.: *Abnormal Pressures in Hydrocarbon Environments*. AAPG Memoir 70, publ. by AAPG, Oklahoma, Tulsa, USA, 1998
- [11] Nasser A. Al.-Mashan: *Profilaktyka pozarurowych przepływów gazu ziemnego*. Technika Poszukiwań Geologicznych, nr 5, 1983
- [12] Stryczek S., Gonet A.: *Kierunki ograniczania migracji gazu z przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego*. Miesięcznik WUG – Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, nr 3, 2005
- [13] Szostak L. i in.: *Technologia cementowania*. Nafta & Gaz Biznes nr 5d, 1999
- [14] Uliasz J., Dudek L., Herman Z.: *Poradnik zapobiegania i likwidacji erupcji*. Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo, Warszawa 1984