

**Stanisław Dubiel\***

**ANALIZA ZAGROŻENIA  
DLA ŚRODOWISKA GRUNTOWO-WODNEGO  
NA PODSTAWIE DANYCH Z ERUPCJI WSTĘPNEJ\*\***

**1. WSTĘP**

Przez erupcję wstępną rozumie się wcześniej spostrzeżony dopływ płynu złożowego (gazu, ropy, wody) do otworu wiertniczego, zaistniały podczas dowiercania złoża węglowodorów w warunkach niewielkiej nierównowagi ciśnień na dnie otworu wiertniczego między ciśnieniem dennym  $p_d$  a ciśnieniem złożowym  $p_z$ . Odpowiednio wczesne spostrzeżenie i określenie rodzaju płynu złożowego (gaz, kondensat, ropa, woda) oraz objętości tego dopływu możliwe jest m.in. na podstawie przyrostu objętości płuczki obiegowej  $\Delta V_{zb}$  w zbiorniku płuczkowym (np. w granicach 0,5–5 m<sup>3</sup>). Spostrzeżenie to jest podstawą podjęcia decyzji o zamknięciu wylotu otworu wiertniczego głowicą przeciwerupcyjną [1–3, 5].

Stopień zagrożenia erupcyjnego zależy m.in. od wielkości gradientu ciśnienia złożowego oraz rodzaju płynu złożowego, który dopłynął do otworu wiertniczego, ocenianego na podstawie jego ciężaru właściwego w warunkach dennych, a także od objętości tego płynu.

Wiarygodne informacje o występujących warunkach złożowych można uzyskać już na etapie dowiercania złoża, m.in. na podstawie:

- analizy danych z erupcji wstępnej;
- wyników badań rurowymi próbnikami złoża.

Dane z erupcji w fazie wstępnej uzyskiwano zwykle dotychczas w sposób nieplany, głównie ze względów bezpieczeństwa. Wystąpienie erupcji wstępnej spowodowane jest utratą równowagi ciśnień na dnie otworu i charakteryzuje się zawsze pewnym stopniem zaskoczenia, co wiąże się z trudnością w doborze metody jej likwidacji oraz znacznym

---

\* Katedra Złóż Węglowodorów i Kształtowania Środowiska, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

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

ryzykiem spowodowania erupcji rozwiniętej. Likwidacja erupcji wstępnej polega więc na szybkim przywróceniu równowagi ciśnień na dnie otworu wiertniczego między ciśnieniem hydrostatycznym płuczki w otworze a ciśnieniem złożowym, według ściśle określonych procedur technologicznych. We wszystkich stosowanych metodach likwidacji erupcji wstępnej obowiązuje zasada możliwie szybkiego zamknięcia wylotu otworu wiertniczego głowicą przeciwerupcyjną.

## 2. OKREŚLANIE WARTOŚCI GRADIENTU CIŚNIENIA ZŁOŻOWEGO

Natychmiast po zamknięciu wylotu otworu przystępuje się do obserwacji wzrostu ciśnień w przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego oraz w przewodzie wiertniczym. Zwykle po kilku lub kilkunastu minutach takich obserwacji możliwe jest zarejestrowanie ustabilizowanych (na krótki czas) wartości ciśnień w przestrzeni pierścieniowej ( $p_{zcr}$ ) oraz w przewodzie ( $p_{zcp}$ ). Czas stabilizacji zależy od rodzaju płynu złożowego i jego objętości w warunkach dennych i jest odpowiednio dłuższy w przypadku dopływu gazu ziemnego niż w przypadku dopływu ropy naftowej lub wody złożowej. Ponieważ dopływający płyn złożowy tworzy w przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego słup (poduszkę) o wysokości od kilkudziesięciu do kilkuset metrów, wartość ciśnienia zarejestrowanego w międzyrurowej przestrzeni pierścieniowej jest większa niż w przewodzie, który jest całkowicie wypelniony płuczka wiertniczą (rys. 1).

Przez zamknięcie wylotu otworu uzyskuje się zrównoważenie ciśnienia złożowego ciśnieniem dennym ( $p_z = p_d$ ). Wartość ciśnienia dennego można łatwo obliczyć, uwzględniając warunki ciśnieniowe w przewodzie wiertniczym w momencie rejestracji ustabilizowanego ciśnienia zamknięcia ( $p_{zcp}$ ) jako sumę tego zarejestrowanego ciśnienia i ciśnienia hydrostatycznego słupa płuczki w przewodzie.

Tak więc, wartość ciśnienia złożowego  $p_z$  można obliczyć ze wzoru:

$$p_z = p_d = p_{zcp} + H \cdot \gamma_{p1} \quad (1)$$

gdzie:

$p_{zcp}$  – zarejestrowana wartość ciśnienia ustabilizowanego w przewodzie zaraz po zamknięciu głowicy przeciwerupcyjnej, gdy poduszka płynu złożowego znajduje się na dnie otworu, Pa;

$H$  – głębokość otworu wiertniczego, m;

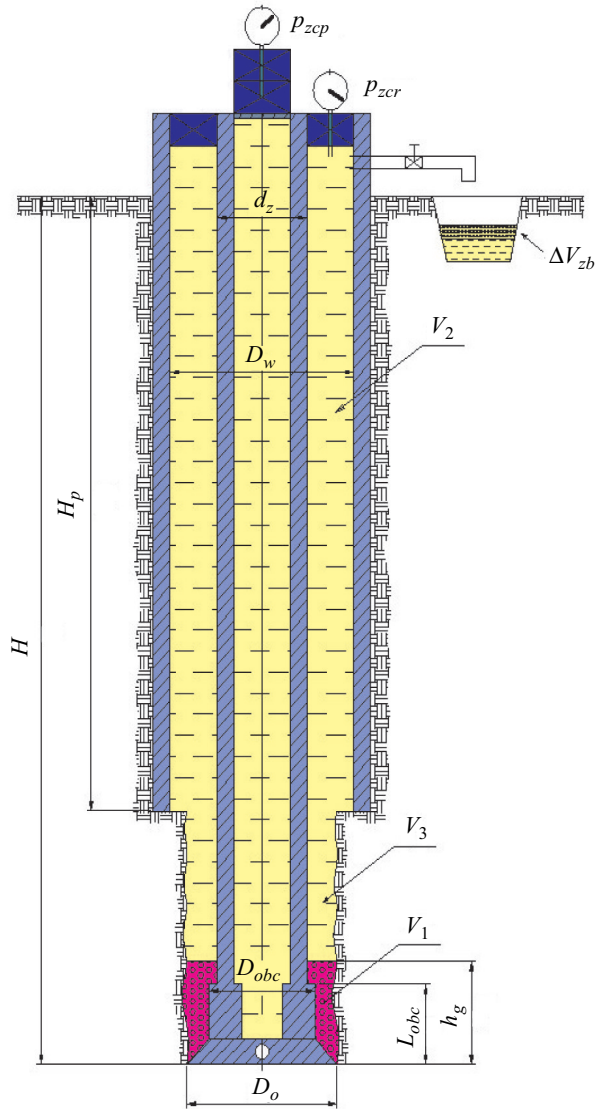
$\gamma_{p1}$  – ciężar właściwy płuczki obiegowej,  $N/m^3$ .

Podstawiając do wzoru (1) wartości liczbowe z otworu WK-22 [6]:  $p_{zcp} = 2 \cdot 10^6$  Pa;  $H = 2255$  m;  $\gamma_{p1} = 1,5 \cdot 10^4$   $N/m^3$ , otrzymano:  $p_z = 33,825 \cdot 10^6$  Pa = 33,825 MPa.

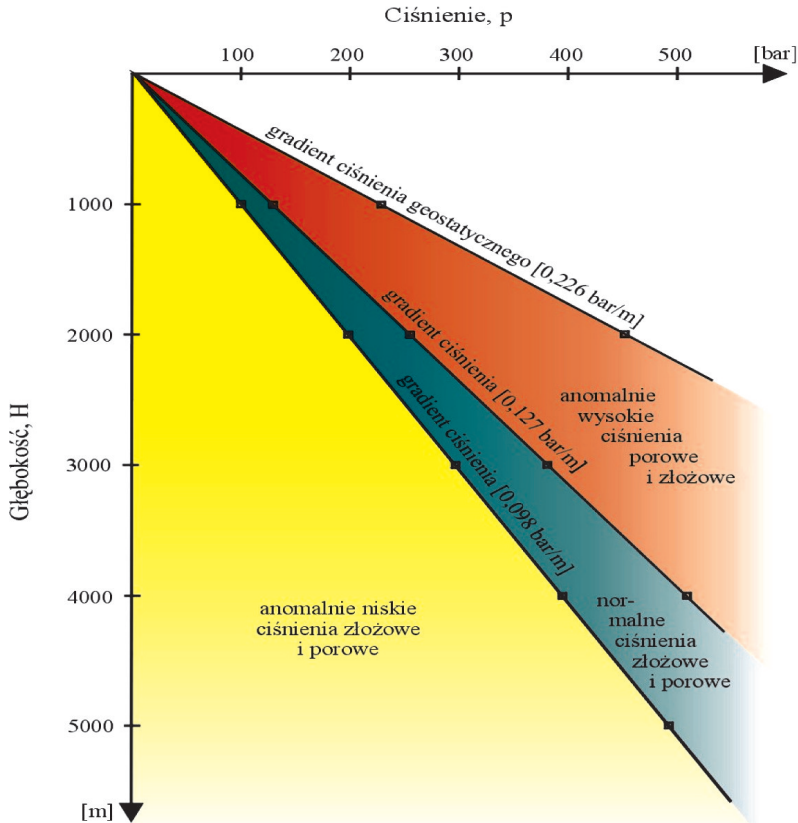
Gradient ciśnienia złożowego wyraża się wzorem

$$G_z = p_z/H \quad (2)$$

Podstawiając do wzoru (2) odpowiednie dane otrzymano:  $G_z = 0,015$  MPa/m = 0,15 bar/m. Obliczona wartość  $G_z$  wskazuje, że dowieczana warstwa charakteryzuje się anomalnie wysokim ciśnieniem złożowym (rys. 2).



**Rys. 1.** Schemat utworzenia się poduszki gazowej o wysokości  $h_g$  w przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego WK-22:  $p_{zcp}$  – zarejestrowane ciśnienie w przewodzie;  $p_{zcr}$  – zarejestrowane ciśnienie w przestrzeni międzyrurowej;  $\Delta V_{zb}$  – przyrost objętości płuczki wiertniczej w zbiorniku roboczym;  $H$  – głębokość otworu wiertniczego;  $V_1, V_2, V_3$  – objętość przestrzeni pierścieniowej odpowiednio między obciążnikami a ścianą otworu wiertniczego, między rurami płuczkowymi a rurami okładzinowymi oraz między rurami płuczkowymi a ścianą otworu;  $H_p$  – głębokość posadowienia buta rur okładzinowych;  $\gamma_{p1}$  – ciężar właściwy płuczki obiegowej,  $L_{obc}$  – długość obciążników;  $D_o$  – średnica nieoruwanego odcinka otworu;  $D_w$  – średnica wewnętrzna rur okładzinowych;  $D_{obc}$  – średnica zewnętrzna obciążników;  $d_z$  – średnica zewnętrzna przewodu wiertniczego



**Rys. 2.** Zakresy liczbowe anomalnie niskich, normalnych i anomalnie wysokich wartości gradientu ciśnienia złożowego (skały porowate i przepuszczalne) bądź gradientu ciśnienia porowego (skały porowate o znikomej przepuszczalności, które zwykle ekranują złoża węglowodorów w części stropowej) [2]

Po upływie określonego czasu poduszka płynu złożowego w otworze zamkniętym będzie migrować przez słup płuczki i podnosić się stopniowo w przestrzeni pierścieniowej. Wówczas ciśnienie denne będzie wzrastać o wartość ciśnienia hydrostatycznego słupa płuczki pod poduszką i osiągnie największą wartość w przypadku, gdy poduszka płynu złożowego podniesie się pod głowicę otworu. O tę samą wartość będą wzrastać wskazania ciśnieniomierzy na wylocie otworu. Wcześniej jednak następuje zwykle hydrauliczne szczelinowanie skał pod butem rur okładzinowych, co stwarza warunki do powstania erupcji wgłębnej lub erupcji pozarurowej i ucieczki płuczki wiertniczej.

Od momentu rozpoczęcia podnoszenia się poduszki płynu złożowego w otworze zamkniętym nie ma więc już możliwości poprawnego określenia wartości ciśnienia złożowego.

### 3. OKREŚLANIE CIĘŻARU WŁAŚCIWEGO PŁYNU ZŁOŻOWEGO

Ciężar właściwy płynu złożowego  $\gamma_z$  można określić z warunku równości ciśnień w przewodzie wiertniczym i w przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego (rys. 1)

$$P_{zcp} + H \cdot \gamma_{p1} = P_{zcr} + (H - h_z) \cdot \gamma_{p1} + h_z \cdot \gamma_z \quad (3)$$

gdzie:

$\gamma_z$  – ciężar właściwy płynu złożowego,  $\text{N/m}^3$ ,

$h_z$  – wysokość słupa płynu złożowego w przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego.

Przekształcając równanie (3) względem  $\gamma_z$ , otrzymano wzór

$$\gamma_z = \gamma_{p1} - \frac{P_{zcr} - P_{zcp}}{h_z} \quad [\text{N/m}^3] \quad (4)$$

Wysokość słupa płynu złożowego  $h_z$  oblicza się na podstawie przyrostu objętości płuczki w zbiornikach płuczkowych  $\Delta V_{zb} = V_z$ . Słup płynu złożowego o wysokości  $h_z$  (w przypadku przyływu gazu  $h_z = h_g$ ) może znajdować się tylko w przestrzeni  $V_1$  i wtedy

$$h_z = \Delta V_{zb} / V'_{1mb} < L_{obc} \quad (5)$$

lub wypełniać całą przestrzeń  $V_1$  oraz część przestrzeni  $V_3$  i wówczas

$$h_z = h_{z1} + h_{z3} = L_{obc} + h_{z3} \quad (6)$$

gdzie  $h_{z1}$  jest równe długości obciążników  $L_{obc}$   
oraz

$$h_{z3} = \frac{\Delta V_{zb} - V_1}{V'_{31mb}} \quad (7)$$

gdzie  $V'_{31mb}$  – pojemność przestrzeni pierścieniowej między rurami płuczkowymi a ścianą otworu wiertniczego,  $\text{m}^3/1 \text{ mb}$ .

Objętość oraz pojemność (objętość 1 mb) przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego oblicza się dla poszczególnych jego odcinków, uwzględniając odpowiednie wymiary geometryczne (rys. 1, tab. 1). Dla przykładu w tabeli 1 zestawiono wyniki obliczeń objętości  $V$  i pojemności  $V'_{1mb}$  poszczególnych przestrzeni pierścieniowych w otworze wiertniczym WK-22 [6]. W rozpatrywanych warunkach otworu wiertniczego WK-22 [6] przyrost objętości płuczki wynosi  $\Delta V_{zb} = 4,3 \text{ m}^3$ , objętość pierwszej przestrzeni pierścieniowej  $V_1 = 1,775 \text{ m}^3$ , a pojemność trzeciej przestrzeni  $V_3 = 0,0305 \text{ m}^3/1 \text{ mb}$  (tab. 1).

W celu określenia  $h_z$  należy sprawdzić, czy spełniona jest nierówność (5). W rozpatrywanym przypadku nierówność ta nie jest spełniona, bo wartość ilorazu:  $4,3/0,0185 = 232,4$  m jest większa od długości obciążników  $L_{obc} = 96$  m. W związku z tym zachodzi przypadek, gdy płyn złożowy wypełnia całą przestrzeń pierścieniową  $V_1$ , tworząc słup o wysokości  $h_{z1} = L_{obc} = 96$  m, oraz część przestrzeni  $V_3$ , w której tworzy słup o wysokości  $h_{z3}$

$$h_{z3} = (\Delta V_{zb} - V_1)/V'_{3 \text{ 1 mb}} = (4,3 - 1,775)/0,0305 = 82,8 \text{ m}$$

**Tabela 1**

Zestawienie wyników obliczeń objętości  $V$  i pojemności  $V'_{1 \text{ mb}}$  poszczególnych przestrzeni pierścieniowych w otworze wiertniczym WK-22 (wg rys. 1)

Przestrzeń pierścieniowa wg rys. 1	Geometria przestrzeni pierścieniowej odpowiednie średnice ( $D$ i $d$ ) i długości odcinków ( $l$ )			Pojemność-objętość 1 mb przestrzeni $V'_{1 \text{ mb}}$ $(\pi/4) \cdot (D^2 - d^2)$	Objętość przestrzeni pierścieniowej $V$ $(\pi/4) \cdot (D^2 - d^2) \cdot l$
	m			$\text{m}^3/\text{1mb}$	$\text{m}^3$
$V_1$	$D_o$ 0,216	$D_{obc}$ 0,152	$l = L_{obc} =$ = 96	0,0185	1,775
$V_2$	$D_w$ 0,2223	$d_z$ 0,127	$l = H_p =$ = 1465	0,0333	48,78
$V_3$	$D_o$ 0,216	$d_z$ 0,127	$l = H - H_p -$ $-L_{obc} = 694$	0,0305	23,11

Całkowita wysokość słupa płynu złożowego wynosi

$$h_z = h_{z1} + h_{z3} = L_{obc} + h_{z3} = 96 + 82,8 = 178,8 \text{ m}$$

Podstawiając do wzoru (4) dane dotyczące otworu wiertniczego WK-22, tj.  $\gamma_{p1} = 1,5 \cdot 10^4 \text{ N/m}^3$ ;  $p_{zcr} = 3,3 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ ;  $p_{zcp} = 2 \cdot 10^6 \text{ Pa}$  oraz obliczoną wartość  $h_z = 178,8$  m, otrzymano:  $\gamma_z = 0,7729 \cdot 10^4 \text{ N/m}^3$ .

Z obliczeń wynika, że płynem złożowym, który przyplłynął do otworu wiertniczego WK-22, jest ropa naftowa.

Gdyby płyn złożowy wypełnił całe dwie dolne przestrzenie otworu (pierwszą i trzecią) oraz część przestrzeni drugiej (patrz rys. 1), wówczas wysokość słupa tego płynu określa się ze wzoru

$$h_z = h_{z1} + h_{z3} + h_{z2} = L_{obc} + (H - H_p - L_{obc}) + h_{z2} \quad (8)$$

gdzie

$$h_{z2} = (\Delta V_{zb} - V_1 - V_3)/V'_{2 \text{ 1mb}} \quad (9)$$

Jednak dopływ zbyt dużej objętości płynu złożowego (a zwłaszcza gazu lub silnie nągowanej ropy) do otworu wiertniczego podczas erupcji wstępnej może utrudniać likwidację tej erupcji metodą dwu obiegów płuczki w otworze (metoda wiertacza), a także metodą jednego obiegu [5] i może doprowadzić do erupcji rozwiniętej.

Pod koniec roku 1980 powstała w rejonie Karlina rozwinięta erupcja ropy naftowej z otworu wiertniczego D-1, którym nawiercono na głębokości 2775 m warstwę ropo- i gazonołą dolomitu głównego o anomalnie wysokim gradiencie ciśnienia złożowego: 0,01814 MPa/m (0,1814 bar/m) [6]. Zabezpieczenie rozlewiska ropnego, usuwanie spalanej konstrukcji podzespołów urządzenia wiertniczego typu UM-3D i zagłowiczenie wylotu otworu oraz opanowanie erupcji trwało 33 dni. W świetle obowiązujących obecnie przepisów prawnych [7, 11] skutki tej erupcji miały charakter lokalnej katastrofy ekologicznej.

#### **4. RODZAJE ZANIECZYSZCZEŃ ŚRODOWISKA GRUNTOWO-WODNEGO W PRZYPADKU WYSTĄPIENIA ROZWIŃTEJ ERUPCJI ROPY NAFTOWEJ Z OTWORU WIERTNICZEGO**

Erupcja wiertnicza w stadium rozwiniętym to gwałtowny, niekontrolowany wypływ z otworu wiertniczego lub z przestrzeni pozaotworowej płynów złożowych (gazu ziemnego, ropy naftowej, solanki, a także płuczki wiertniczej). Prowadzi ona do powstania bardzo groźnej sytuacji dla zdrowia i życia ludzi oraz zwierząt (np. gdy wypływ zawiera siarkowodor), negatywnie oddziałuje na wzrost roślin, a także na wody gruntowe [4]. Ropa naftowa lub też solanka wyrzucane wraz z gazem ziemnym z otworu wiertniczego prowadzą do zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego w wyniku rozlania się na powierzchni terenu, zwykle znacznie większej niż powierzchnia kopalni węglowodorów [6]. W wyniku tego następuje rozległe zanieczyszczenie terenu, zniszczenie szaty roślinnej, groźne skażenie wód gruntowych, a także zanieczyszczenie wód pitnych [4, 8–10, 12].

Podczas erupcji rozwiniętej ropa naftowa początkowo pokrywa rośliny oraz wierzchnie warstwy ziemi. Jej migracja w głąb ziemi zależy od właściwości chemicznych i fizycznych gleby, typu fitocenozy pokrywającej ziemię oraz od intensywności opadów atmosferycznych. W czasie suszy rozlana ropa przemieszcza się w głąb ziemi z prędkością około 10 cm/45–60 min. Suche cząstki glebowe, zwłaszcza próchniczne, szybko jednak absorbują ropę, powstrzymując jej migrację do głębszych warstw. W glebie wilgotnej prędkość ta maleje o 50–60%, co jest spowodowane hydrofobowymi właściwościami ropy naftowej. Jednakże, jak wykazały badania, właśnie ruchy roztworu glebowego w rezultacie decydują o kierunku migracji i rozmieszczeniu zanieczyszczeń ropopochodnych w glebie [8, 12].

Ropa naftowa oprócz węglowodorów parafinowych, olefinowych, naftenowych i aromatycznych zawiera także różne zanieczyszczenia, takie jak siarkowodor, merkaptany (tioalkohole – siarkowe odpowiedniki alkoholi), siarczki i dwusiarczki, związki azotu, fenole, wanad, nikiel, miedź, żelazo, rtęć. Nadmiar w glebie związków siarki lub chlorowodoru, może powodować duże zakwaszenie gleby. Substancje ropopochodne zanieczyszczają glebę, powodując jej degradację i nieprzydatność użytkową. Zanieczyszczenia ropopochodne

w glebie mogą mieć różną trwałość. Zależy ona od właściwości gleby, stężenia zanieczyszczeń i ich składu [12].

Węglowodory ropopochodne mogą występować w gruncie w wielu różnych fazach, do których należą przede wszystkim [8–10, 12]:

- faza stała,
- faza ciekła wolnego produktu naftowego,
- roztwór wodny,
- faza parowa.

W stanie stałym występują takie substancje, jak: asfalt, bitumy, żywice, woski naftowe i inne składniki pochodzące z ropy naftowej, jeżeli temperatura otoczenia nie przekracza temperatury topnienia lub mięknięcia tych produktów. Substancje te pozostają w niewielkiej odległości od miejsca wycieku w formie zakumulowanej między ziarnami mineralnymi gruntu w strefie aeracji. Substancje asfaltowo-żywiczne występują w glebach wówczas, gdy nastąpił pożar podczas erupcji ropy z otworu wiertniczego. Często ten typ zanieczyszczeń powoduje skażenie gleby na wiele lat. Produkty lekkie odparowują, zostają wymyte przez infiltrujące wody opadowe lub ulegają biodegradacji.

Węglowodory ropopochodne w fazie ciekłej mogą występować w środowisku gruntowym jako:

- niemobilne płyny rezydualne w strefie aeracji i wzniosu kapilarnego,
- błona zaadsorbowana na powierzchni ziarna mineralnego przy udziale sił van der Waalsa,
- substancje zaadsorbowane przez ziarna glebowe w wyniku sorpcji,
- substancje w szczelinach i porach glebowych,
- mobilne płyny wolne, pływające po powierzchni wód gruntowych przemieszczające się aż do górnej granicy wzniosu kapilarnego,
- mobilne płyny rezydualne związane w strefie saturacji, w stanie rozpuszczonym,
- substancje w infiltrującej wodzie strefy aeracji.

Pary węglowodorów występują w środowisku gruntowym głównie w pustych przestrzeniach strefy aeracji niewypełnionych wodą bądź ciekłymi węglowodorami. Mogą one również występować jako pęcherzyki uwięzione w strefie wolnych węglowodorów lub w warstwie wodonośnej. Faza parowa obficie wydziela się z niskowrzących produktów naftowych, takich jak np. benzyny.

Faza roztworu węglowodorów w wodzie powstaje w wyniku kontaktu między wodą gruntową, a produktami ciekłymi zaadsorbowanymi na powierzchni ziaren mineralnych i składników organicznych gruntu. Kontakt taki następuje:

- w wyniku infiltracji wód opadowych przez strefę aeracji zawierającą węglowodory rezydualne,
- w wyniku ruchu infiltrującej wody docierającej do plamy wodnego produktu,
- w wyniku przepływu wody przez rezydualną, nierozpuszczoną fazę węglowodorów obecnych poniżej zwierciadła wód podziemnych,



- w rezydualnej otoczce wodnej, pokrywające powierzchnię ziaren mineralnych w strefie wzniosu kapilarnego oraz w strefie wolnych węglowodorów,
- w wyniku wymieszania z wodą porową,
- w wodach gruntowych w strefie saturacji.

Szybkie wnikanie w głąb profilu glebowego rozlanych na powierzchni substancji ropopochodnych zagraża przede wszystkim glebom piaszczystym. W glebach wytworzonych z piasku następuje dość dokładne oddzielenie się poszczególnych frakcji węglowodorów. Składniki gazowe przedostają się zazwyczaj do atmosfery dzięki dużej porowatości powietrznej gleb. Asfalty, smoły, woski i ciecze oleiste gromadzą się częściowo na powierzchni gleby. Słabo rozpuszczalne w wodzie węglowodory alifatyczne wędrują w głąb profilu glebowego, otaczając po drodze ziarenka piasku cienką warstwą. Głębiej, aż do poziomu wód gruntowych, wędrują węglowodory aromatyczne, substancje szczególnie groźne dla środowiska dzięki stosunkowo dobrej rozpuszczalności w wodzie. Zanieczyszczenia ropopochodne są mniej groźne dla gleb piaszczystych niż dla wód gruntowych [8, 12].

W glebach o niskiej zdolności sorpcyjnej, wytworzonych z gliny, utworów pyłowych iłów i torfów rozkład zanieczyszczeń ropopochodnych zachodzi wolniej niż w glebach lekkich. Przyczyną tego zjawiska jest sorpcja tych zanieczyszczeń przez minerały ilaste i substancje organiczne stanowiące składniki gleby. Sorpcja ta wzrasta wraz z czasem zalegania zanieczyszczeń naftowych w glebie. Koloidy mineralne o większej pojemności sorpcyjnej hamują rozkład substancji ropopochodnych bardziej niż koloidy o mniejszej zdolności sorpcyjnej. Z tego powodu najgorsza mineralizacja zanieczyszczeń ropopochodnych zachodzi w glebach o dużej zawartości zawiesiny bentonitowej. Mokra glina i ily są prawie nieprzepuszczalne dla większości węglowodorów, jednak w miarę wysychania i wraz z upływem czasu oddziaływania substancji zanieczyszczających na glebę wzrasta w nich przepuszczalność dla wody [8–10, 12].

Drugą przyczyną znacznie gorszej mineralizacji zanieczyszczeń ropopochodnych w glebach ciężkich i torfowych jest niedobór tlenu. Przyjmuje się, że tlen penetruje samoistnie warstwę glebową na głębokość 50 cm. Zanieczyszczenie produktami ropopochodnymi powoduje zablokowanie przestrzeni między cząstkami gleby i znacznie ogranicza naturalne natlenienie.

W świeżych rozlewiskach większość produktów występuje głównie w formie rezydualnej (zaadsorbowanej), a z czasem rośnie ilość par i produktów rozpuszczonych. Znajomość mechanizmu transportu każdej z faz jest niezbędna do właściwej oceny i rozpoznania skażenia.

Skala skażeń wód podziemnych nie jest na ogół znana, ale stanowi realne zagrożenie, ponieważ w gruncie nie ma intensywnego zjawiska samooczyszczania się wód, występującego na ogół w wodach powierzchniowych. Wody podziemne mogą więc pozostawać zanieczyszczone przez lata, dziesięciolecia, a nawet dłużej. Ponadto, określenie lokalizacji, zasięgu i natężenia przepływu wprowadzonych do gruntu zanieczyszczeń jest w odniesieniu do wód podziemnych dużo trudniejsze i bardziej kosztowne niż w przypadku wód powierzchniowych [10].

Substancje o gęstości większej od gęstości wody pod wpływem sił grawitacyjnych przemieszczają się do spągowych partii warstw wodonośnych, co sprawia, że ich rozprzestrzenianie się w kierunkach horyzontalnych jest bardzo ograniczone. Natomiast substancje o gęstości mniejszej od gęstości wody unoszą się na powierzchni wody podziemnej i mogą wraz z nią migrować na znaczne odległości. W praktyce zanieczyszczenia tego typu mają zazwyczaj pochodzenie ropopochodne [9].

Substancje ropopochodne mogą występować w wodach podziemnych w następujących postaciach:

- ciekła, makroskopowo ciągła plama, mogąca przemieszczać się pod wpływem naturalnego pola hydrodynamicznego,
- ciekła, rozpuszczona w wodzie,
- ciekła lub stała, zaadsorbowana na powierzchni ziaren ośrodka gruntowego, niemobilna,
- gazowa (para).

Przywrócenie (choćby częściowe) wartości przyrodniczych środowiska gruntowo-wodnego zanieczyszczonego substancjami ropopochodnymi wymaga zastosowania specjalnych metod remediacji [8–10].

## 5. WNIOSKI KOŃCOWE

- 1) Określenie wartości gradientu ciśnienia złożowego oraz rodzaju płynu złożowego na podstawie erupcji wstępnej umożliwia zapobieganie powstaniu erupcji rozwiniętej, a także ocenę stopnia zagrożenia erupcyjnego dla środowiska gruntowo-wodnego.
- 2) W przypadkach wystąpienia rozwiniętej erupcji ropy naftowej pojawiają się różnorodne zagrożenie dla środowiska gruntowo-wodnego i są one znacznie większe niż w przypadku erupcji gazu ziemnego lub wody złożowej.
- 3) Identyfikacja rodzaju zanieczyszczeń gleby substancjami ropopochodnymi, a także ich lokalizacja umożliwia dobór odpowiedniej metody remediacji, natomiast zanieczyszczenie wód podziemnych substancjami ropochodnymi jest trudniejsze do identyfikacji i lokalizacji.

## LITERATURA

- [1] Dubiel S.: *Zagadnienia opróbowania złóż ropy naftowej i gazu ziemnego. Cz. I.: Opróbowanie poziomów skał zbiornikowych w procesie wiercenia otworu*. Skrypty Uczelniane AGH nr 1309, Kraków 1992
- [2] Dubiel S.: *Analiza warunków wiercenia otworu pod kątem ujawnienia zagrożenia erupcyjnego*. „Górnictwo” (kwartalnik AGH) 1995, z. 2, s. 15
- [3] Dubiel S.: *Decyzje technologiczne w zakresie identyfikacji i likwidacji zagrożenia erupcyjnego w procesie dowiercania do złóż gazu ziemnego*. „Wiertnictwo Nafta Gaz” (rocznik AGH) 1997, r. 14, s. 27–39

- [4] Dubiel S., Macuda J., Jamrozik A.: *Ocena wpływu technologii stosowanych w wiertnictwie naftowym na środowisko gruntowo-wodne*. „Wiertnictwo Nafta Gaz” (rocznik AGH) 2003, r. 20/2, s. 331–342
- [5] Dubiel S., Ziaja J.: *Schematy blokowe analizy warunków otworowych podczas dowierciana złóż węglowodorów oraz wyboru metody likwidacji erupcji wstępnej*. „Wiertnictwo Nafta Gaz” (rocznik AGH) 2006, r. 23/1, s. 155–161
- [6] Materiały archiwalne Polskiego Górnictwa Naftowego i Gazownictwa 1980–1995
- [7] *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi*. Dz. U. z dnia 4 października 2002, nr 165, poz. 1359
- [8] Surygała J. i in.: *Ropa naftowa a środowisko przyrodnicze*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2001
- [9] Rychlicki S. i in.: *Metody usuwania zanieczyszczeń węglowodorowych ze środowiska gruntowo-wodnego*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2006
- [10] Solecki T., Macuda J.: *Metody wykrywania i identyfikacji substancji ropopochodnych w środowisku gruntowo-wodnym*. „Wiertnictwo Nafta Gaz” (rocznik AGH) 2004, r. 21/1, s. 325–332
- [11] *Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach*. Dz. U. z 2001 r., nr 62, poz. 628 wraz z późniejszymi poprawkami
- [12] [www.rozanski.gower.pl/ekotoksykologia.2002](http://www.rozanski.gower.pl/ekotoksykologia.2002)