

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 ΔV_{zb} w zbiorniku płuczkowym (np. w granicach 0,5–5 m³). 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;

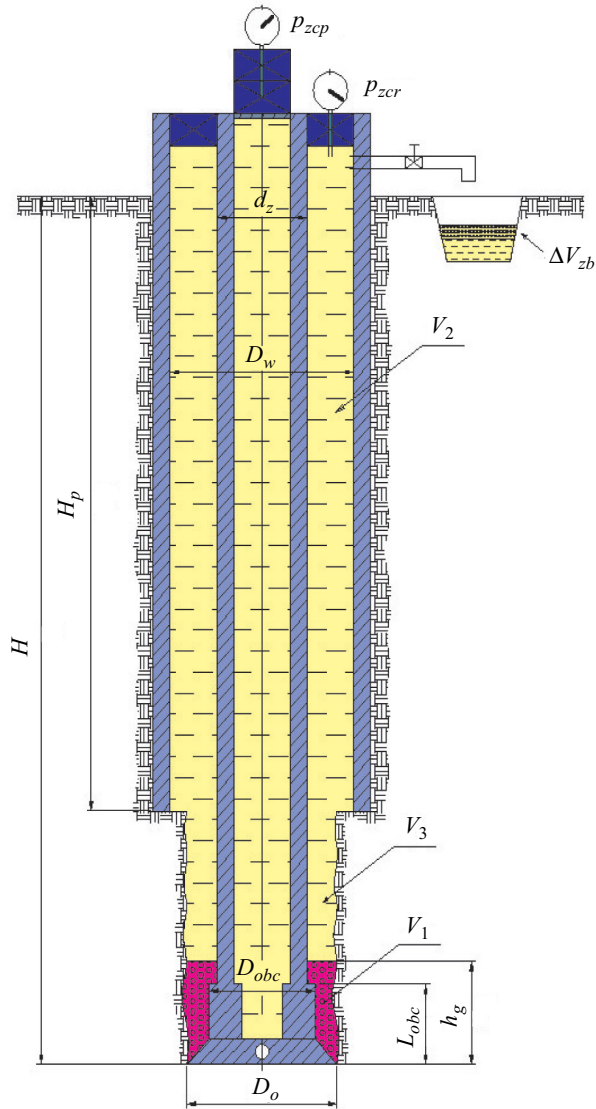
γ_{p1} – ciężar właściwy płuczki obiegowej, N/m^3 .

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.

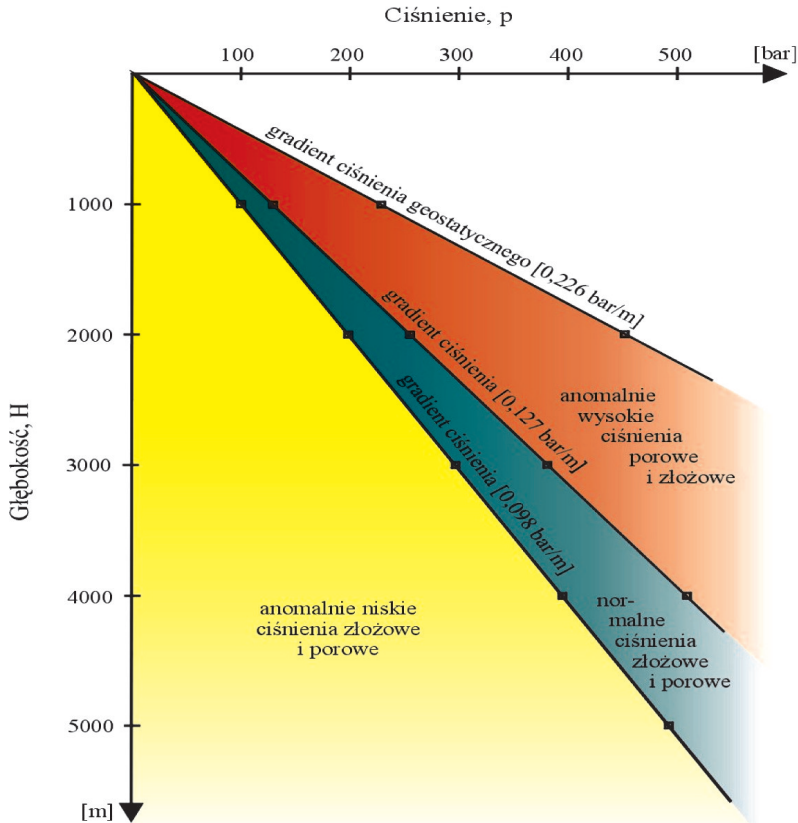
Gradient ciśnienia złożowego wyraża się wzorem

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

Podstawiając do wzoru (2) odpowiednie dane otrzymano: $G_z = 0,015$ MPa/m = 0,15 bar/m. Obliczona wartość G_z wskazuje, że dowiercana 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; ΔV_{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; γ_{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 γ_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:

γ_z – ciężar właściwy płynu złożowego, N/m^3 ,

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

Przekształcając równanie (3) względem γ_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			$\text{m}^3/\text{1mb}$	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 nągazowanej 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 gazonośną 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 umożliwi 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 umożliwi 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., Ziąja J.: *Schematy blokowe analizy warunków otworowych podczas dowierciania 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