

**Petr Bujok*, Jaroslav Damec*, Sylva Drabkova*,
Petr Jancik*, Robert Rado****

MODELOWANIE STREF ZAGROŻENIA DLA ODWIERTÓW GAZOWYCH***

1. WPROWADZENIE

Negatywne skutki zaprzestania eksploatacji są widoczne na niektórych złożach, na których zakończono eksploatację w latach 60. i 70. ubiegłego stulecia. Do grupy tych złóż można zaliczyć w szczególności te złoża (Lanžhot, Nesyt, Lužice, Brodské, Týnec i in.), w przypadku, których zakończono eksploatację przed całkowitym wydobyciem ich zasobów. W złożach tych, po dostatecznie długim okresie od zatrzymania eksploatacji dochodzi do odbudowy ciśnienia złożowego, co przekłada się na wzrost ciśnienia w nieczynnych i zlikwidowanych odwiertach. Wzrost ciśnienia może doprowadzić do uszkodzenia lub naruszenia wyposażenia odwiertu. Nie bez znaczenia są tutaj też procesy korozyjne. W takich przypadkach może dojść do niekontrolowanego samowypływu ropy naftowej lub ulatniania się gazu ziemnego do otaczającego środowiska. W tych przypadkach, w których odwierty i ich wyposażenie pozostają nadal szczelne, wyloty odwiertów są pod ciśnieniem, jednak wartość tego ciśnienia nie jest znana i trudna do określenia. Odwierty te w przyszłości mogą stać się zagrożeniem.

Ogólnie ujmując, w przypadkach o których mowa, istnieją dwa sposoby postępowania, czyli rozwiązywania potencjalnego zagrożenia:

- 1) ponowne przygotowanie złoża do eksploatacji i wydobyć pozostałych w nim zasobów,
- 2) ponowna likwidacja odwiertów eksploatacyjnych.

Drugi ze sposobów wymaga na ogół obniżenia ciśnienia złożowego do takiego poziomu, który umożliwi bezpieczne, ekonomicznie uzasadnione i ekologiczne wykonanie koniecznych operacji. Odwiert eksploatacyjny ropy czy gazu tworzy wraz ze złożem połączony zespół hydrodynamiczny.

* VŠB-TU Ostrava, Czech Republic

** Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

*** Praca wykonana w ramach grantu finansowanego przez CEZ GA 541 5061 i KBN BS 11.11.190.01

Z punktu widzenia układu hydrodynamicznego i procesów filtracyjnych wylot otworu jest, w porównaniu z przepuszczalnością warstwy produktywnej, elementem o najniższych oporach przepływu. Z tego względu przepływ płynu złożowego skierowany będzie w kierunku odwiertu.

W większości przypadków powszechnie stosowane technologie likwidacji odwiertów eksploatacyjnych lub poszukiwawczych są wystarczająco skuteczne. Likwidację przeprowadza się izolując całą długość odwiertu lub cementując wybrane interwały zaczynem cementowym z uszczelnieniem kolumny wstępnej do głębokości ok. 1,5 m poniżej powierzchni terenu. Likwidację odwiertu kończy przykrycie jego wylotu betonową płytą [2].

Natomiast, jeśli nie jest możliwe zredukowanie ciśnienia złożowego, koniecznością staje się likwidacja odwiertu „pod ciśnieniem”, czyli tzw. cementacja pod ciśnieniem. Ten sposób likwidacji odwiertów jest z technicznego punktu widzenia trudniejszy (ekonomicznie – bardziej kosztowny), przy czym nie chodzi tu o wybór właściwej technologii, ale przede wszystkim o wykluczenie możliwości awarii z jej wszystkimi ekologicznymi następstwami. Likwidacja taka wymaga specjalnego zabezpieczenia załogi prowadzącej likwidację. Dodatkowo pod uwagę należy wziąć konieczność ochrony zabudowań, wszędzie tam, gdzie niebezpieczne odwierty znajdują się w pobliżu terenów mieszkalnych czy przemysłowych.

Wszelkie analizy mające na celu podniesienie bezpieczeństwa powinny uwzględniać nie tylko możliwość powstania zagrożenia na terenach ze zlikwidowanymi odwiertami, ale także uwzględniać czynne odwierty na złożu gazu (z punktu widzenia możliwości powstania erupcji lub wybuchu). Zasięgiem potencjalnych zagrożeń i ich skutkami oraz zakresem ochrony środowiska obecnie w Republice Czeskiej nie zajmuje się szczegółowo żadna organizacja [4].

2. IDENTYFIKACJA ZAGROZEŃ WOKÓŁ ODWIERTÓW EKSPLOATACYJNYCH

Pierwszy etap badań mających na celu identyfikację przyczyn powstawania zagrożeń przy likwidacji nieczynnych już odwiertów eksploatacyjnych na wyeksploatowanych złożach węglowodorów będących pod ciśnieniem, obejmował wytypowanie odwiertów, które mogą być potencjalnym zagrożeniem. Dla wybranych potencjalnie najbardziej niebezpiecznych odwiertów autorzy chcieli zdefiniować warunki, przy których zostałyby przeprowadzone badania wybranych parametrów propagacji fali ciśnieniowej i uderzeniowej. Dodatkowymi badaniami byłyby objęte również warunki przejścia wybuchu w detonację, celem zaprojektowania odpowiedniego wyposażenia aparaturowego, sposobów i metod pomiarów, a także sposobów przygotowania i analizy mieszanek gazów palnych. Dla rozwiązania tego zagadnienia założono ponadto rozszerzenie prowadzonych już prac terenowych i eksperymentalnych. W następnym etapie zostanie dokonany dobór punktów obserwacyjnych dla ustalenia stref i granic, w których dane uzyskane z pomiarów będą porównywane z modelem matematycznym.

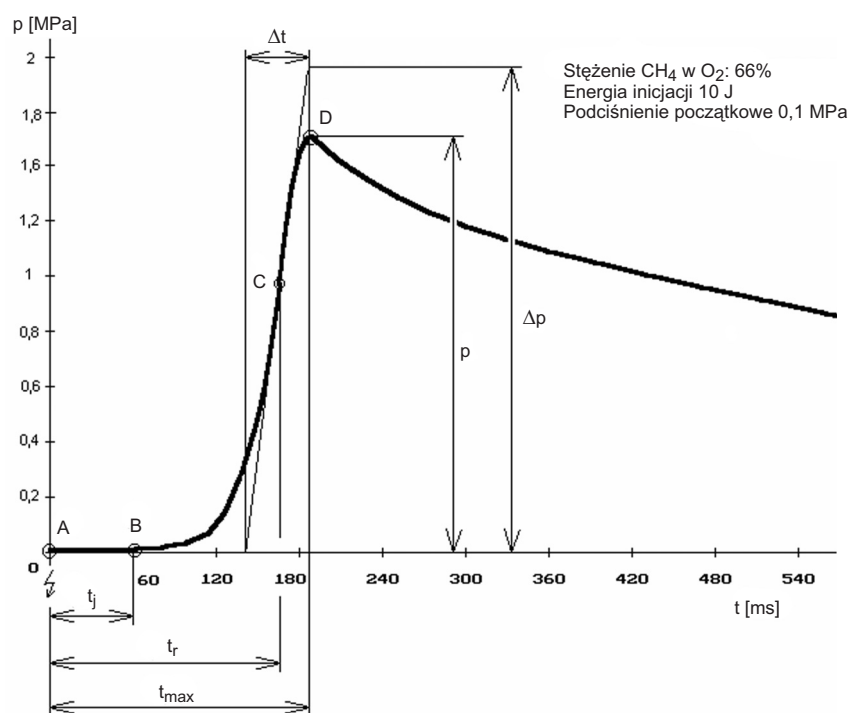
Na podstawie uzyskanych wyników przygotowano dane o terenie, w którym znajdują się najbardziej niebezpieczne odwierty (szczególnie z punktu widzenia ich oddalenia od

najbliższych zabudowań, wielkości oraz przeznaczenia terenów). Do tego celu wykorzystano dane z geograficznego systemu informacji (GIS) [3]. Następnie zostaną przygotowane wstępne dane o źródłach zagrażających środowisku (chodzi o tzw. źródła punktowe).

Eksperymenty z generowaniem fal ciśnieniowych i uderzeniowych przeprowadzono dotychczas w warunkach laboratoryjnych. Będą one weryfikowane i porównywane z wynikami uzyskanymi na otwartej przestrzeni. Dodatkowo badania zostaną poszerzone również o problematykę promieniowania cieplnego, które w określonych warunkach może mieć skutki niszczące porównywalne z falą ciśnieniową lub podciśnieniową [1].

Rozważania nad działaniem fal ciśnieniowych modelowano laboratoryjnie pod kątem ich działania w warunkach zbliżonych do naturalnych (stężenie oraz mieszanina gazów, a także sposoby inicjacji wybuchu). Uzyskane informacje pozwolą na przygotowanie w ograniczonej skali eksperymentów polowych.

Po inicjacji mieszanki wybuchowej w następstwie egzotermicznej reakcji spalania wydziela się duża ilość ciepła, większa niż może odprowadzić układ. W zamkniętym środowisku wzrost temperatury przekłada się zwiększeniem ciśnienia. Czasowy przebieg narastania ciśnienia przy wybuchu w zależności od czasu przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Krzywa wybuchu

Po inicjacji w punkcie A upływa czas t_j do momentu pojawienia się wzrostu ciśnienia. Jest to czas przygotowania mieszanki do zapalenia. Od punktu B dochodzi do wzrostu ciśnienia.

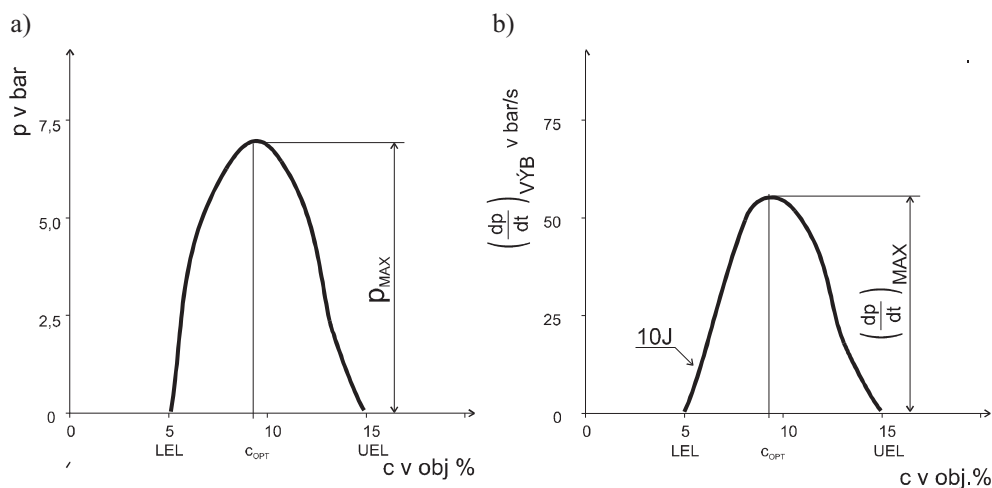
W następstwie wzrostu temperatury wzrasta prędkość reakcji i trwa ona do punktu C, gdzie prędkość wzrostu ciśnienia wybuchu jest najwyższa. Pomiędzy punktami C i D następuje zmniejszenie prędkości narastania ciśnienia wybuchu w wyniku ubywania składników stanowiących mieszkankę wybuchową. W punkcie D przyrost ten wynosi zero. Od tego punktu ciśnienie spada wpływając na obniżanie temperatury spalin i skondensowanej pary.

Wielkość wzrostu ciśnienia wybuchu wyznacza styczna w punkcie C

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta p}{\Delta t} \cong \frac{dp}{dt}$$

Wielkość dp/dt określa szybkość wzrostu ciśnienia wybuchu przy wybuchu mieszanki o stężeniu c_x w zamkniętej przestrzeni V . Kształt krzywej wybuchu, a także wartości p i (dp/dt) są wyrażone stężeniem mieszkanki wybuchowej, co pokazuje rysunek 2.

Najwyższe wartości ciśnienia wybuchu i szybkości wzrostu ciśnienia wybuchu uzyskuje się przy stężeniu optymalnym c_{opt} . Wartości te to maksymalne ciśnienie wybuchu i maksymalna szybkość wzrostu ciśnienia wybuchu i oznaczamy p_{max} i $(dp/dt)_{max}$.



Rys. 2. Charakterystyki wybuchowe metanu w mieszaninie z powietrzem.
Wykresy: a) ciśnienia wybuchu; b) szybkości wzrostu ciśnienia wybuchu

Ze wzrostem lub spadkiem stężenia, od c_{opt} ciśnienie wybuchu i szybkość wzrostu ciśnienia spadają aż do granic wybuchowości LEL, (czyli c_{min}) i UEL (czyli c_{max}). Dolna i górna granica wybuchowości ogranicza zakres wybuchowości. Poza tymi granicami nie jest możliwe samoistne rozprzestrzenianie się wybuchu. Dolna granica wybuchowości LEL przedstawia niedobór substancji palnej w mieszanke z środkiem utleniającym. Górna granica wybuchowości UEL wyraża niedobór środka utleniającego w mieszaninie.

Granice wybuchowości mają duże praktyczne znaczenie, ponieważ służą do prognozowania potencjalnych zagrożeń w środowisku zagrożonym wybuchami.

3. METODY OKREŚLANIA STREF ZAGROŻENIA

Przy rozwiązywaniu zasygnalizowanego powyżej problemu korzystano ze znanych obecnie możliwości modelowania rozprzestrzeniania się substancji zanieczyszczających w środowisku. Substancjami zanieczyszczającymi środowisko są gazy, aerozole lub cząstki stałe, które przedostają się do atmosfery ze źródeł naturalnych i antropogenicznych. Szczególnym przypadkiem zanieczyszczania środowiska naturalnego były, są i będą niekontrolowane ucieczki substancji zanieczyszczających. W przypadku omawianego problemu chodzi przede wszystkim o ucieczki gazu z naturalnych zbiorników (złóż) i zbiorników udostępnionych wskutek działalności człowieka (powierzchniowa i węgłna eksploatacja węgla brunatnego i kamiennego, wydobywanie i składowanie kopalin ciekłych i gazowych). Źródła naturalne są częścią składową środowiska od zamierzchłych czasów; aktualnie praktycznie też nie wpływają negatywnie na środowisko. Antropogeniczne źródła, które emitują substancje zanieczyszczające, są dla człowieka i ekosystemu najbardziej niebezpieczne. Substancje zanieczyszczające z tych źródeł też występują zwykle w wyższych stężeniach w atmosferze.

Zanieczyszczające substancje gazowe w miejscach wypływu ze źródła określane są jako emisje. Mieszają się one z atmosferą i wraz z wiatrem są transportowane i przenoszone w postaci skażonego obłoku. Najważniejsze jest, czy oddziaływanie substancji zanieczyszczających na obiekty następuje w sposób bezpośredni, czy też wtórny. Generalnie źródła emisji zlokalizowane są najczęściej na powierzchni ziemi. Mamy wówczas do czynienia z bezpośrednim oddziaływaniem substancji zanieczyszczających; czyli mówimy o emisjach lub o przyziemnych stężeniach zanieczyszczeń.

Stężenie substancji zanieczyszczających w badanym środowisku oraz ich rozprzestrzenianie się zależy od szeregu czynników, które można podzielić na trzy podstawowe grupy:

- 1) czynniki źródła emisji,
- 2) czynniki atmosferyczne,
- 3) czynniki środowiska naturalnego.

Wszystkie wymienione czynniki oddziałują równocześnie w sposób kompleksowy, który można opisać fizycznie i matematycznie. Wynikiem tego opisu są modele matematyczne dyspersji substancji zanieczyszczających w środowisku.

Do rozwiązania tego problemu wykorzystywane są dwa typy modeli:

- 1) statyczny,
- 2) dynamiczny,

które są zasadniczo odmienne i różnią się względem siebie wymaganiami aparatu matematycznego, metodami obliczeniowymi i sposobem zadawania parametrów wejściowych [3].

Modele dynamiczne były początkowo rozwijane do modelowania przepływu płynów; dzisiaj są używane z powodzeniem przede wszystkim w termodynamice i hydromechanice. Modele te, na podstawie użycia złożonych układów równań hydromechanicznych i termodynamicznych rozwiązywanych numerycznie, wyznaczają zmianę stanu ośrodka rzeczywistego w funkcji czasu. Model matematyczny przedstawiony jest układem równań algebraicznych i równań różniczkowych cząstkowych, które następnie są rozwiązywane często metodą elementów skończonych. Jest to jednak skomplikowane ze względu na złożoność przepły-

wów turbulentnych w środowisku, dla których nie opracowano teorii i modeli dokładnie je opisujących. Rozwiązanie układu równań ponadto ogranicza określenie założeń wstępnych i szacowanie lub doświadczalne wyznaczenie współczynników. Dalszym problemem przy numerycznym rozwiązywaniu tych złożonych układów równań różniczkowych cząstkowych są znaczne nakłady, które należy ponieść na podniesienie mocy obliczeniowej komputerów. Matematyczny model tworzy układ równań różniczkowych cząstkowych, które rozwiązuje się metodami elementów skończonych.

Warunki brzegowe są definiowane w ten sposób, że możliwe jest uwzględnienie w modelu fizycznym procesów przebiegających w rzeczywistym środowisku takich, jak:

- zmiany temperatury,
- stan ciśnienia,
- przemieszczanie się frontów atmosferycznych.

Do rozwiązania powyższych równań do dyspozycji są komputerowe programy z pakietami SW, które pozwalają na numeryczne rozwiązywanie równań przepływu. Programy te pozwalają na zadawanie warunków brzegowych. Dane wejściowe jak i wyniki mogą być podawane w formie wartości stałych lub pochodnych funkcji zadanych wielkości.

Modele dynamiczne są wykorzystywane między innymi do modelowania rozproszenia substancji szkodliwych w atmosferze. Ich użycie jest możliwe wszędzie tam, gdzie jest konieczne uwzględnienie wpływu dynamiki źródła zanieczyszczenia (zmiana emisji w funkcji czasu); przykładem mogą być tu nagłe i niekontrolowane wycieki substancji zanieczyszczających. Są one również użyteczne przy szczegółowym określaniu zasięgu strefy zagrożenia w konkretnych warunkach meteorologicznych (kierunek i siła wiatru, temperatura), nie są jednak dokładne w przypadku określania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń na podstawie danych wejściowych opracowywanych statystycznie. W tych przypadkach używa się modeli statystycznych.

Modele statystyczne są bardziej rozpowszechnione; są też tańsze w obsłudze zwłaszcza, jeśli chodzi o wymagania sprzętowe. Metody te wykorzystują analityczne rozwiązania dotyczące równań dyfuzji, uproszczonych na podstawie badań doświadczalnych. Rzeczywisty przepływ jest również opisywany w sposób uproszczony; wychodzi się z uproszczonych założeń i ograniczonych warunków między innymi zakłada się przeważnie nieburzliwy transport zanieczyszczeń w kierunku wiatru, źródło zanieczyszczenia jest punktowe ze stałą wydajnością substancji zanieczyszczających.

Pierwsze dwa modele do określania skutków potencjalnych zagrożeń i ich następstw zostały przygotowane dla:

- 1) magazynu gazu ziemnego Uhřice,
- 2) dla centralnej stacji zbiorczej ropy naftowej Dambořice.

Magazyn gazu ziemnego Uhřice jest usytuowany na wzniesieniu w pobliżu zbiorników na ropę naftową natomiast poniżej usytuowany jest teren mieszkalny. W przypadku jakiegokolwiek awarii zagrożone są zbiorniki oraz osiedle mieszkalne. Dodatkowym zagrożeniem dla ludności zamieszkującej najbliższą okolicę są potencjalne skumulowane skutki awarii pochodzące od zbiorników jak i podziemnego magazynu gazu. Stąd konieczność monitorowania oraz prognozowania potencjalnych następstw awarii.

Drugi model jest przygotowywany dla symulowania zagrożenia w przypadku awarii eksploatowanych odwiertów gazowych w pobliżu centralnej stacji zbiorczej ropy naftowej Dambořice. W tym przypadku zbiorniki i ciąg technologiczny znajdują się w dolinie otwartej tylko w kierunku wioski, która znajduje się w odległości ok. 500 m. W przypadku awarii bezpośrednio zagrożona jest ludność tam mieszkająca. O skali problemu może świadczyć fakt, iż w przypadku uszkodzenia głowicy eksploatacyjnej, która jest zagłowiczona na rurach 3½" do atmosfery przedostałoby się 900 000÷1 000 000 m³ gazu w ciągu 24 godzin.

4. PODSUMOWANIE

Z wiedzy uzyskanej przy eksploatacji i magazynowaniu gazu ziemnego wynika, że przy rozwiązywaniu problemów związanych z awariami odwiertów eksploatacyjnych (erupcje, eksplozje) i ich wpływem na środowisko największe możliwości dają modele używane do rozwiązywania problemów propagacji zanieczyszczeń w atmosferze. Przykładem może być tu metodyka SYMOS 97 oraz dynamiczny model Fluent [2]. Program Fluent przedstawia grupę programów do symulacji przepływów z aplikacjami przeznaczonymi do stosowania w problematyce środowiska naturalnego oraz jego ochrony. Do modelowania mieszanek wybuchowych palnych gazów i stref wybuchu jest używany przede wszystkim innowacyjny program przygotowany w ramach programu EURUS. Jest to przykład połączenia dynamicznego i statycznego modelu dyspersji substancji zanieczyszczających i ich prototypowe połączenie z systemem GIS [4].

Rozwiązania dotyczące propagacji stref zagrożenia np. odwiertów eksploatacyjnych mogą mieć zastosowanie przy ocenie zagrożeń w innych obiektach technologicznych, w których może dojść do niekontrolowanego wypływu gazu. Przykładowo mogą to być gazociągi czy szyby zamkniętych kopalń, gdzie często dochodzi do niekontrolowanego wypływu metanu.

Problem potencjalnych zagrożeń wokół odwiertów eksploatacyjnych czy też już nieczynnych odwiertów jest istotny z punktu widzenia bezpieczeństwa ludności oraz ochrony środowiska.

LITERATURA

- [1] Damec J.: *Protivýbuchová prevence*. Ostrava, VU, Edice Spektrum, č. 8, 1999
- [2] Gonet A., Stryczek S., Rzychniak M.: *Projektowanie otworów wiertniczych*. Kraków, Wydawnictwa AGH 1996
- [3] Jančík P.: *Dynamický model rozptylu znečišťujících látek v ovzduší a GIS*. Sborník konference GIS Ostrava 99, Ostrava 1999
- [4] Lapčík V.: *New Legislation in Sphere of Environmental Impact Assessment in the Czech Republic*. [In:] *New Trends in Mineral Processing IV – Part II*, Proceedings of International Conference, Ostrava, 28–30.6.2001, Ostrava, VŠB-TU 2001
- [5] Bujok P., Kalus D. a kol.: *Monitorovací systém pro sledování vlivů SNS Dambořice A na životní prostředí*. Doplnění projektu, právní výsledky, EZ, Ostrava, VSB-TV 1996