

Grzegorz Kołodziejak

Institut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Problem emisji powierzchniowej z otwartych zbiorników na płyn po szczelinowaniu hydraulicznym

Proces wydobywania kopalin z podziemnych złóż węglowodorów związany jest z ciągłą emisją zanieczyszczeń do powietrza. W zależności od etapu prac, emisje te mają różnorodny charakter. Zmienia się zarówno ich wielkość, jaki i rodzaj. W większości przypadków określenie emisji jest stosunkowo łatwe, a także proste w prognozowaniu. Wraz z pojawieniem się możliwości pozyskiwania węglowodorów z formacji łupkowych zrodził się problem związany z emisją substancji lotnych z płynu po szczelinowaniu. Płyn ten gromadzony jest w otwartych zbiornikach powierzchniowych zlokalizowanych na terenie wiertni. Emisje z tym związane budzą jednak kontrowersje i są źródłem obaw lokalnych społeczności. W artykule omówiono zagrożenia związane z potencjalną emisją substancji z powierzchniowych zbiorników oraz aktualny stan wiedzy na temat możliwości jej prognozowania.

Słowa kluczowe: płyn szczelinujący, szczelinowanie hydrauliczne, emisja ze zbiorników powierzchniowych.

Surface emissions of open water reservoirs on the hydraulic fracturing fluid

The process of extracting minerals from underground hydrocarbon deposits is connected with the continuous emission of pollutants into the air. Depending on the phase of works these emissions may have different nature. Both the amount and type of emissions change. In most cases, the determination of these emissions is relatively simple and easy to anticipate. With appearance of the possibility of obtaining hydrocarbons from shale formations the problem of emission of volatile substances from the fracturing fluid arose. This fluid is collected in open reservoirs located in the drilling area. Related emissions have raised controversies and are sources of concern to local communities. The article discusses the potential risks associated with the emission of substances from surface reservoirs and the current state of knowledge about its forecasting capabilities.

Key words: fracturing fluid, hydraulic fracturing, emissions from the open reservoirs.

Wstęp

Wśród różnych problemów związanych z poszukiwaniami węglowodorów w złożach *shell gas* wielokrotnie podnoszone są kwestie mogących zaistnieć niekontrolowanych emisji do powietrza substancji lotnych z otwartych zbiorników powierzchniowych, w których gromadzony jest płyn po zakończonych zabiegach szczelinowania hydraulicznego. Jest to zagadnienie bardzo skomplikowane, trudne do opisanego z wielu różnych powodów. Skład płynu do szczelinowania jest w zasadzie za każdym razem inny – zależy od struktury

geologicznej złoża. Dodatkowo skład płynu odbieranego różni się od płynu zatłaczanego i jest praktycznie niemożliwy do przewidzenia. Ma to również związek z indywidualnymi cechami odwiertu. Podobny problem stanowi wcześniejsze określenie ilości płynu odbieranego.

Zagadnienie niekontrolowanej emisji ze zbiorników jest wielokrotnie poruszane wśród ogólnych zagrożeń, jakie towarzyszą poszukiwaniom węglowodorów w łupkach. Polskie doświadczenia w tym względzie są jednak jeszcze niewielkie.

Ponadto w chwili obecnej Polska znajduje się dopiero na etapie rozpoznawania złóż i dlatego problem ten postrzega się

u nas inaczej niż np. w USA, gdzie z uwagi na potencjalnie wysokie zagrożenie jest on szeroko omawiany.

Zabieg szczelinowania hydraulicznego i skład płynu szczelinującego [1, 5, 6]

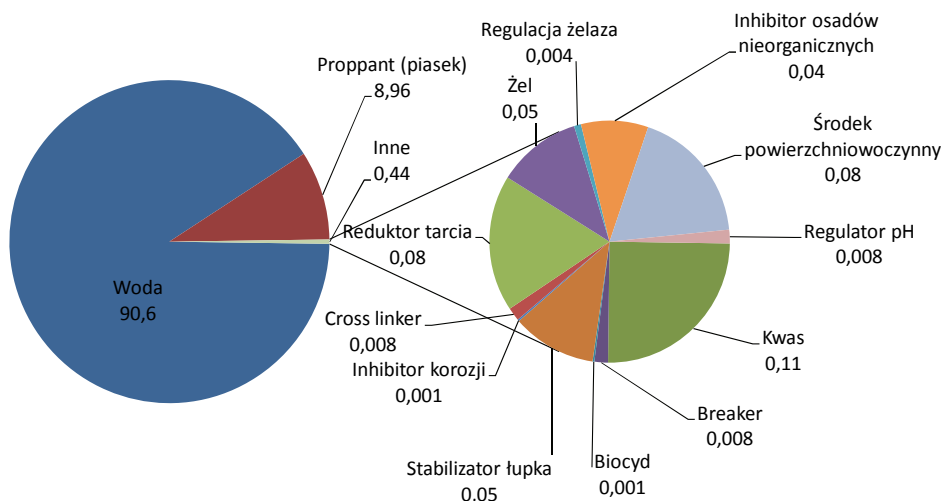
Szczelinowanie hydrauliczne jest sprawdzonym, kontrolowanym, a przede wszystkim – zaawansowanym technologicznie procesem wykorzystującym powszechnie znane prawa fizyki. Ma on na celu stworzenie takich warunków wewnątrz odwiertu, aby wydobycie gazu ziemnego (m.in. ze skał łupkowych) było możliwe. Szczelinowanie hydrauliczne jest znane i stosowane od wielu lat. Pierwsze zabiegi tego typu przeprowadzono w latach 40. ubiegłego wieku. Od tego czasu technologia ta jest stale udoskonalana i stosowana z powodzeniem na całym świecie. Dotychczas przeprowadzono ponad 1 000 000 zabiegów szczelinowania.

Szczelinowanie hydrauliczne jest końcowym elementem procesu rozpoznania złoża, którego efekt stanowi przyływ gazu do otworu wiertniczego, a następnie na powierzchnię ziemi. Szczelinowanie jest zawsze poprzedzone wielomiesięcznymi, a często wieloletnimi przygotowaniem (m.in. badaniami sejsmicznymi, analizą danych geologicznych, próbnymi odwiertami, badaniami petrofizycznymi i geomechanicznymi rdzeni skał itp.). Szczegółowe zbadanie właściwości danego złoża pozwala na perfekcyjne przygotowanie i optymalizację procesu szczelinowania. Prace, choć prowadzone kilka kilometrów pod ziemią, wymagają znacznej precyzji.

Tablica 1. Przykładowy zestaw substancji wykorzystywanych do sporządzenia płynu szczelinującego na złożu Marcellus Shale w USA [4]

Rodzaj dodatku	Główny składnik	Cel stosowania	Powszechnie wykorzystanie
Rozcieńczony kwas (15%)	kwas solny	rozpuszcza minerały i inicjuje pęknięcie w skale	środki chemiczne i czyszczące stosowane w basenach
Biocyd	aldehyd glutarowy	eliminuje z wody bakterie, które wytwarzają korozyjne produkty uboczne	środek dezynfekujący, sterylizator narzędzi medycznych i dentystycznych
Breaker	nadsiarczan amonu	umożliwia opóźniony rozpad łańcuchów polimerowych żelu	wybielacz do tkanin i włosów, produkcja tworzywa sztucznego dla sprzętu gospodarstwa domowego
Inhibitor korozji	n-dimetyloformamid	zapobiega korozji rur	farmaceutyki, włókna akrylowe, tworzywa sztuczne
Cross linker	sole boranowe	utrzymuje lepkość płynów w miarę wzrostu temperatury	środki piorące, mydło i kosmetyki
Reduktor tarcia	poliacrylamid olej mineralny	minimalizuje tarcie między płynami a rurami	uzdatnianie wody, odżywki glebowe, środki do demakijażu, środki przeczyszczające i słodzące
Żel	guma guar lub etanol celulozowy	zagęszcza wodę w celu zawieszenia w niej piasku	kosmetyki, pasta do zębów, sosy, wypieki, lody
Regulacja żelaza	kwas cytrynowy	zapobiega wytrącaniu się metali	dodatek do żywności, przyprawa do żywności i napojów; sok cytrynowy zawiera ok. 7% kwasu cytrynowego
KCl	chlorek potasu	tworzy solankonośny płyn	substytut niskosodowej soli kuchennej
Utylizator tlenu	dwusiarczyn amonu	usuwa tlen z wody w celu ochrony rur przed korozją	kosmetyki, wytwarzanie żywności i napojów, uzdatnianie wody
Czynnik regulujący pH	węglan sodu lub potasu	wspomaga efektywność pozostałych składników	soda do prania, detergenty, mydło, zmiękcacz wody, szkło i ceramika
Proppant	krzemionka, piasek kwarcowy	zapobiega zamknięciu się szczelin i pozwala na przepływ gazu	filtrowanie wody pitnej, piaskownice, cement, zaprawa murarska
Inhibitor osadów nieorganicznych	glikol etylenowy	zapobiega osadzaniu się kamienia na rurach	chłodnice silników, domowe środki czyszczące, czynnik do odładzania
Środek powierzchniowoczynny	alkohol izopropylowy	zwiększa lepkość płynów do frakcjonowania	środek czyszczący szkło, antyperspirant, farby do włosów

Proces szczelinowania hydraulicznego polega na wpompowaniu do otworu wiertniczego tzw. płynu stymulującego, składającego się w ponad 99 procentach z wody z piaskiem. Dodatkowo, w zależności od warunków złożowych i otworowych, do płynu dodawane są małe ilości różnych substancji pomagających efektywnie wykonać szczelinowanie. Do jednego otworu na potrzeby szczelinowania należy średnio wtłoczyć od 8 000 do 14 000 m³ wody oraz od 450 do 680 ton piasku, co zależy od długości odcinka poziomego o średnicy około 12,5 cm, który podlega szczelinowaniu. Dodatki chemiczne w płynie stymulującym mają za zadanie np. zapobiegać korozji rur (substancje bakteriobójcze), ograniczać opadanie piasku na dno (środki żelujące) lub przeciwdziałać zmianom lepkości cieczy. Każdorazowo dobór dodatków jest modyfikowany, a ostateczny skład płynu zależy od właściwości danego złoża [1].



Rys. 1. Skład procentowy płynu używanego do szczelinowania hydraulicznego na złożu Marcellus Shale [4]

Przykładowy skład procentowy płynu używanego do szczelinowania hydraulicznego na złożu Marcellus Shale przedstawiono na rysunku 1 [4].

W tabelicy 1 przedstawiono przykładowy zestaw substancji wykorzystywanych do sporządzenia płynu szczelinującego na złożu Marcellus Shale w USA [4].

Emisja z powierzchniowych zbiorników

Do emisji lotnych substancji wchodzących w skład płynu szczelinującego dochodzi w trakcie magazynowania płynu odzyskanego po zabiegu szczelinowania w otwartych zbiornikach-basenach (fotografia 1). Oszacowanie wielkości emisji substancji lotnych wchodzących w skład płynu używanego do szczelinowania hydraulicznego w formacjach łupkowych jest niejednokrotnie bardzo skomplikowane. Podstawową tego przyczyną jest indywidualny charakter każdego z wykonywanych odwiertów, a co za tym idzie:

- dostosowany do warunków lokalnych odwiertu skład płynu szczelinującego i stężenie poszczególnych składników, które mogą zostać wyemitowane do atmosfery,
- ilość płynu szczelinującego odzyskana po zabiegu szczelinowania hydraulicznego,
- powierzchnia zbiornika na odzyskany płyn (powierzchnia emisji). Kolejnym elementem

istotnie wpływającym na wielkość emisji są warunki atmosferyczne, a w szczególności:

- temperatura powietrza,
- ciśnienie atmosferyczne,
- wielkość opadów (wilgotność powietrza atmosferycznego).

Powyższy zestaw zmiennych praktycznie ogranicza do minimum możliwość wykonania modelowania emisji substancji lotnych z otwartych zbiorników płynu odzyskanego po zabiegu szczelinowania.



Fot. 1. Otwarty zbiornik na płyn odzyskany po zabiegu szczelinowania hydraulicznego

Modelowanie emisji

Jednym z niewielu dostępnych modeli stosowanych w celu oszacowania emisji substancji lotnych z otwartych zbiorników jest model opisany przez EPA (Environmental Protection Agency) w dokumencie nr EPA-453/R-94-080A pt.: *Air Emissions Models for Waste and Wastewater* [2]. Bazuje on na równaniu opisującym transfer składników lotnych z powierzchni cieczy do powietrza. Jego podstawowa wersja przedstawiona jest za pomocą równania:

$$E = KAC_L \quad (1)$$

gdzie:

E – emisja do powietrza z powierzchni cieczy [g/s],

K – współczynnik transferu masy [m/s],

A – powierzchnia cieczy [m²],

C_L – stężenie składnika w fazie ciekłej [g/m³].

Stężenie składnika w fazie ciekłej – C_L

Stężenie w fazie ciekłej składnika emitowanego do atmosfery to siła napędowa dla procesu transferu masy. Jego wartość przyjmowana do obliczeń jest uzależniona od charakteru zbiorników, wśród których rozróżniamy:

- zbiorniki bezodpływowe, napełniane jednorazowo w krótkim czasie,
- zbiorniki z ciągłym jednostajnym przepływem cieczy,
- zbiorniki z okresowym przepływem cieczy.

Zbiorniki na ciecz po zabiegu szczelinowania hydraulicznego zaliczane są do kategorii pierwszej. W tym przypadku zakłada się, że stężenie składnika w fazie ciekłej jest równe stężeniu początkowemu składnika w chwili napełniania zbiornika i charakteryzuje się niezmiennością w czasie. Należy pamiętać, że powyższe założenie jest obarczone błędem wynikającym z częściowej zmiany stężenia w czasie, powodowanej emisją składnika do atmosfery (przy założeniu stałej wartości K i A). Niemniej jednak w celu modelowania wielkości emisji powyższe uproszczenie jest dopuszczalne.

Szacowanie współczynnika K

Współczynnik transferu masy K jest szacowany za pomocą modelu przemiany dwufazowej w oparciu o współczynniki transferu masy fazy ciekłej k_L i gazowej k_G oraz stałą Henry'ego wyrażoną w postaci współczynnika podziału Keq . Współczynnik transferu masy przedstawiony jest za pomocą równania:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{k_L} + \frac{1}{k_G Keq} \quad (2)$$

gdzie:

K – współczynnik transferu masy [m/s],

k_L – współczynnik transferu masy fazy ciekłej [m/s],

k_G – współczynnik transferu masy fazy gazowej [m/s],

Keq – stała równowagi lub współczynnik podziału, obliczany jako iloraz stężenia składnika w fazie gazowej i stężenia składnika w fazie ciekłej, przy założeniu, że stężenia są podawane w tych samych jednostkach.

Szacowanie stałej równowagi – Keq

Stała Henry'ego H jest obliczana jako iloraz ciśnienia par danego składnika i współczynnika jego rozpuszczalności w wodzie. W związku z powyższym, stałą równowagi możemy przedstawić za pomocą równania:

$$Keq = \frac{H}{RT} \quad (3)$$

gdzie:

H – stała Henry'ego [atm · m³/g · mol],

R – uniwersalna stała gazowa

(8,21 · 10⁻⁵) [atm · m³/g · mol · K],

T – temperatura [K].

Dla standardowej temperatury wynoszącej 25°C równanie (3) przyjmuje postać:

$$Keq = 40,9 \cdot H \quad (4)$$

Szacowanie współczynnika k_L

W fazie ciekłej współczynnik transferu masy k_L jest funkcją dyfuzyjności składnika w wodzie, prędkości wiatru oraz głębokości cieczy. Badania nad jego obliczeniem prowadzone były na Uniwersytecie Arkansas przez Springer'a i współpracowników. Doświadczenie polegało na przeprowadzeniu symulacji desorpcji eteru etylowego w tunelu aerodynamicznym o długości 2,4 m, w którym znajdował się zbiornik wodny o głębokości od 4,7 cm do 1,2 m. Badania doprowadziły do opracowania trzech różnych równań dla współczynnika transferu masy k_L uzależnionego od kombinacji wartości prędkości wiatru oraz wskaźnika F/D , czyli stosunku średnicy efektywnej zbiornika wodnego do jego głębokości. Doświadczenie wykazało, że współczynnik transferu masy k_L jest stały dla wartości prędkości wiatru mieszczącej się w zakresie 0÷3,25 m/s. Pomimo że zespół badawczy Springer'a prowadził badania z zastosowaniem eteru etylowego, uzyskane przez niego wyniki można wykorzystać do obliczeń dla innych substancji, poprzez zastosowanie podniesionego do potęgi 2/3 ilorazu dyfuzyjności badanej substancji i dyfuzyjności eteru etylowego. Prędkość wiatru w badaniach Springer'a została zdefiniowana jako wartość mierzona na wysokości 10 m nad poziomem cieczy. Modele opracowane przez zespół Springer'a nie dają możliwości wykonania

obliczeń dla przypadku, w którym jednocześnie wskaźnik F/D jest mniejszy od 14 i prędkość wiatru jest większa od 3,25 m/s. Dla powyższych przypadków obliczeń można dokonać za pomocą równań opracowanych przez MacKay'a i Yeun'a, którzy w swoich badaniach nie brali pod uwagę głębokości cieczy. Natomiast przygotowane przez nich równania zbudowano w oparciu o dane 11 związków organicznych reprezentujących szeroki zakres stałej Henry'ego i ich zastosowanie jest możliwe dla przypadków, które nie mogą być obliczone za pomocą równań Springer'a.

Równania opracowane przez zespół Springer'a:

$$k_L = 2,78 \cdot 10^{-6} \cdot \left[\frac{D_w}{D_{ether}} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (5)$$

dla ($0 < U_{10} < 3,25$ m/s) oraz (F/D w pełnym zakresie)

$$k_L = \left[2,605 \cdot 10^{-9} \cdot \left(\frac{F}{D} \right) + 1,277 \cdot 10^{-7} \right] \cdot U_{10}^2 \cdot \left[\frac{D_w}{D_{ether}} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (6)$$

dla ($U_{10} > 3,25$ m/s) oraz ($14 < F/D < 51,2$)

$$k_L = 2,611 \cdot 10^{-7} \cdot U_{10}^2 \cdot \left[\frac{D_w}{D_{ether}} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (7)$$

dla ($U_{10} > 3,25$ m/s) oraz ($F/D > 51,2$)

gdzie:

U_{10} – prędkość wiatru na wysokości 10 m ponad powierzchnią cieczy [m/s],

D_w – dyfuzyjność składnika w wodzie [cm^2/s],

D_{ether} – dyfuzyjność eteru etylowego w wodzie [cm^2/s],

F/D – iloraz średnicy efektywnej zbiornika wodnego do jego głębokości.

Równania MacKay'a i Yeun'a:

$$k_L = 1,0 \cdot 10^{-6} + 34,1 \cdot 10^{-4} \cdot U^* \cdot Sc_L^{-0,5} \quad (8)$$

dla ($U^* > 0,3$ m/s)

$$k_L = 1,0 \cdot 10^{-6} + 144 \cdot 10^{-4} \cdot U^{*2,2} \cdot Sc_L^{-0,5} \quad (9)$$

dla ($U^* < 0,3$ m/s)

gdzie:

U^* – prędkość tarcia (m/s) = $0,01 U_{10} (6,1 + 0,63 U_{10})^{0,5}$,

U_{10} – prędkość wiatru na wysokości 10 m nad poziomem cieczy [m/s],

Sc_L – liczba Schidta'a po stronie cieczy = $\frac{\mu_L}{\rho_L D_w}$,

μ_L – lepkość wody [$\text{g}/\text{cm} \cdot \text{s}$],

ρ_L – gęstość wody [g/cm^3],

D_w – dyfuzyjność składnika w wodzie [cm^2/s].

Szacowanie współczynnika k_G

Badania nad oszacowaniem współczynnika transferu masy fazy gazowej k_G prowadzone były przez MacKay'a i Matasugu, którzy poddali analizie proces parowania do powietrza benzyny, wody oraz benzenu. Wynikiem badań jest korelacja, która pozwala przedstawić współczynnik transferu masy fazy gazowej jako funkcję prędkości wiatru oraz efektywnej średnicy zbiornika z cieczą.

Korelację tę MacKay i Matasugu przedstawili za pomocą równania:

$$k_G = 4,82 \cdot 10^{-3} \cdot U^{0,78} \cdot Sc_G^{-0,67} \cdot F^{-0,11} \quad (10)$$

gdzie:

U – prędkość wiatru [m/s],

Sc_G – liczba Schmidta'a po stronie gazowej = $\frac{\mu_G}{\rho_G D_a}$,

μ_G – lepkość powietrza [$\text{g}/\text{cm} \cdot \text{s}$],

ρ_G – gęstość powietrza [g/cm^3],

D_a – dyfuzyjność składnika w powietrzu [cm^2/s],

F – efektywna średnica zbiornika z cieczą = $\left[\frac{4A}{\pi} \right]$ [m],

A – powierzchnia zbiornika [m^2].

Określenie wielkości emisji substancji najczęściej występujących w płynie po szczelinowaniu hydraulicznym

Szacowanie emisji związków organicznych ze zbiorników płynu po zabiegu szczelinowania zostało przeanalizowane przez Wydział Surowców Mineralnych Departamentu Ochrony Środowiska Stanu Nowy Jork (New York State Department of Environmental Conservation Division of Mineral Resources) w trakcie pracy nad dokumentem pt.: *Projekt uzupełnienia do ogólnego raportu oddziaływania na środowisko programu wydobywania ropy i gazu. Wydawanie pozwoleń na wiercenia horyzontalne wraz ze szczelinowaniem hydraulicznym na złożu Marcellus oraz innych złożach gazu o niskiej przepuszczalności (Draft Supplemental Generic*

Environmental Impact Statement on the Oil, Gas and Solution Mining Regulatory Program. Well Permit Issuance for Horizontal Drilling and High-Volume Hydraulic Fracturing to Develop the Marcellus Shale and Other Low-Permeability Gas Reservoirs) – dalej „dSGEIS” [4]. W ramach opracowywania raportu wzięto pod uwagę dwa scenariusze. Pierwszy z nich zakłada, że płyn po zabiegu szczelinowania odwiertów z wielu padów jest magazynowany w jednym centralnym zbiorniku o powierzchni 22 500 m^2 (150 m \times 150 m). W scenariuszu drugim zbiornik o powierzchni 675 m^2 (15 m \times 45 m) obsługuje tylko jeden pad. Kolejnym z założeń jest maga-

zynowanie płynu przez okrągły rok. Pomimo że przepisy stanowe nakazują usunięcie płynu po zabiegu szczelinowania przed upływem 45 dni po oddaniu odwiertu do eksploatacji, to w przypadku zbiornika centralnego obsługującego 10 odwiertów okres ten jest ze względów technologicznych wydłużany (przy założeniu szczelinowania jednocześnie tylko jednego z odwiertów). Autorzy raportu dSGEIS, korzystając z danych pochodzących z przemysłu, oszacowali również średnią wartość ilości wody koniecznej do procesu szczelinowania. Założono, że każdy z odwiertów wymaga zastosowania 5 000 000 galonów wody (18 925 m³). Przyjęto również, że zbiornik centralny będzie obsługiwał pady o łącznej sumie odwiertów wynoszącej 10 sztuk. Ilość cieczy powracającej z odwiertu po zabiegu szczelinowania określono jako 25% ilości zatłoczonej, co dla 10 odwiertów daje wartość 12 500 000 galonów (47 312 m³). W przypadku zbiornika obsługującego tylko jeden odwiert ilość cieczy powracającej z odwiertu wynosić będzie 1 250 000 galonów (4713 m³).

Kolejnym elementem analizy przeprowadzonej w raporcie dSGEIS było określenie związków organicznych, które w cieczy po zabiegu szczelinowania występują najczęściej i których stężenia są znaczące. Analizy dokonano w oparciu o dane pochodzące od firm zajmujących się eksploatacją węglowodorów ze złoża Marcellus. W tabelicy 2 przedstawiono związki organiczne najczęściej występujące w płynie po szczelinowaniu hydraulicznym wraz z określeniem maksymalnych emisji dla obydwu scenariuszy, tj. zbiornika centralnego oraz pojedynczego. Obliczenia emisji składników lotnych ze zbiorników magazynowych płynu po szczelinowaniu hydraulicznym w raporcie dSGEIS wykonano z zastosowaniem równania 1.

Analiza oraz wyniki obliczeń wykonanych w ramach dSGEIS były przedmiotem dyskusji ze względu na otrzy-

mane wysokie wartości emisji. W polemice udział wzięła firma Gradient Corp., która na zlecenie Halliburton Energy Services Inc. przedstawiła w roku 2009 raport pt.: *Przegląd modelowania emisji ze zbiorników otwartych przeprowadzonego przez Wydział Surowców Mineralnych Departamentu Ochrony Środowiska Stanu Nowy Jork. Projekt uzupełnienia do ogólnego raportu oddziaływania na środowisko programu wydobywania ropy i gazu (Review of Surface Impoundment Emissions Modeling Performed by New York State Department of Environmental Conservation. Draft Supplemental Generic Environmental Impact Statement on the Oil, Gas and Solution Mining Regulatory Program)* [3]. Zdaniem Gradient Inc. wyniki przedstawione w raporcie dSGEIS są znacznie zawyżone. Na poparcie swojej tezy autorzy raportu przygotowanego przez Gradient Corp. przedstawiają obliczenia emisji tych samych składników, o których jest mowa w raporcie dSGEIS, w oparciu o bilans masy – zakładający emisję całkowitą substancji lotnych będących składnikami płynów używanych podczas zabiegów szczelinowania hydraulicznego. Obliczenia wykonane w ten sposób można przeprowadzić z wykorzystaniem równania:

$$V \left(\frac{dm^3}{y} \right) = \frac{E \left(\frac{g}{s} \right) \cdot 3,15 \cdot 10^7 \left(\frac{s}{y} \right)}{C \left(\frac{mg}{dm^3} \right) \cdot 10^{-3} \left(\frac{g}{mg} \right)} \quad (11)$$

gdzie:

- V* – objętość odzyskanego płynu po szczelinowaniu hydraulicznym,
- E* – emisja poszczególnych składników lotnych płynu szczelinującego,
- C* – stężenie poszczególnych składników lotnych w płynie szczelinującym.

Tablica 2. Wielkość emisji związków organicznych ze zbiorników magazynowych płynu po zabiegu szczelinowania hydraulicznego na podstawie dSGEIS

Nazwa związku chemicznego	Emisja		Emisja w skali roku	
	zbiornik centralny [g/s]	z jednego odwiertu [g/s]	zbiornik centralny [kg/rok]	z jednego odwiertu [kg/rok]
Akrylamid	0,00001240	0,00000045	0,4	0,014
Benzen	0,00000061	0,00000001	0,019	0,00038
Ksylene	0,19400000	0,00378000	6 118	119
Glikol etylenowy	0,00166000	0,00006000	52	1,9
Glikol propylenowy	3,15000000	0,10600000	99 300	3 343
Aldehyd glutarowy	0,01250000	0,00045400	394	14
Monoetanoloamina	0,02690000	0,00095800	848	30
Alkohol propargilowy	0,00864000	0,00029500	272	9,3
Metanol	24,00000000	0,71500000	756 000	22 500
Formaldehyd	0,00105000	0,00003750	33	1,2
Ciężka benzyna	15,00000000	0,44900000	473 000	14 100

Tablica 3. Ilości cieczy po zabiegu szczelinowania wymagane do wypełnienia wartości emisji wykazanych w raporcie

Nazwa związku chemicznego	Wymagana ilość cieczy		Błąd bilansu masy	
	zbiornik centralny [gal]	z jednego odwiertu [gal]	zbiornik centralny	z jednego odwiertu
Akrylamid	10 300	370	-	-
Benzen	508 000 000	9 910 000	41,0	8,0
Ksylen	538 000 000	10 490 000	43,0	8,0
Glikol etylenowy	76 800	2 770	-	-
Glikol propylenowy	52 000 000	1 760 000	4,2	1,4
Aldehyd glutarowy	1 150 000	42 000	-	-
Monoetanolamina	12 000 000	440 000	-	-
Alkohol propargilowy	47 000 000	1 630 000	3,8	1,3
Metanol	202 000 000	6 040 000	16,0	5,0
Formaldehyd	17 000 000	620 000	1,4	-
Ciężka benzyna	454 000 000	13 540 000	36,0	11,0

Wyniki obliczeń zestawiono w tablicy 3, która prezentuje ilości płynu po zabiegu szczelinowania wymagane do wypełnienia wartości emisji wykazanych w raporcie dSGEIS (tablica 2).

Błąd bilansu masy obliczany jest zgodnie z równaniem:

$$\text{błąd bilansu masy} = \frac{\text{wymagana ilość cieczy}}{\text{ilość cieczy po zabiegu szczelinowania dSGEIS}} \quad (12)$$

gdzie:

- wymagana ilość cieczy odpowiada wartościom w tablicy 3,
- ilość cieczy po zabiegu szczelinowania dSGEIS =

12 000 000 gal dla zbiornika centralnego oraz 1 200 000 gal dla zbiornika indywidualnego/jeden odwiert,

- wartości < 1 opisane są znakiem „-”.

Analizując przedstawione w tablicy 3 błędy bilansu masy, można stwierdzić, że wartości podawane w raporcie dSGEIS są nierealne. Prowadząc swoje obliczenia, Gradient Corp. założył, że składniki płynu po zabiegu szczelinowania ulegną emisji całkowitej z roztworu, co jest mało prawdopodobne, a mimo to ilości cieczy po zabiegu szczelinowania musiałyby być w niektórych przypadkach ponad 40-krotnie większe niż zakładane w raporcie dSGEIS.

Podsumowanie

Problem emisji substancji lotnych z powierzchniowych zbiorników na płyn po szczelinowaniu nie jest w Polsce jeszcze tak rozpowszechniony i dyskusja nad nim ogranicza się do polemiki z mieszkańcami terenów, na których wykonywane są próbne odwierty w złożach łupkowych. Sytuacja ta zmienia się w momencie, gdy rozpoczęta zostanie regularna eksploatacja tych złóż. Wiązać się z tym będzie nieporównywalnie większa ilość gromadzonego płynu zwrotnego, a tym samym – ilość emitowanych do powietrza substancji.

Przedstawione w artykule dane, zaczerpnięte z dwóch raportów opracowanych w oparciu o wyniki prac prowadzonych

na złożu Marcellus w stanie Nowy Jork, świadczą o małej dokładności i niepewności istniejących modeli, które mogą być wykorzystane do szacowania emisji ze zbiorników płynu po zabiegach szczelinowania. Znaczący błąd, który został w nich popełniany, polega na założeniu w wykorzystywanym równaniu stałej w czasie wartości stężenia składnika ulegającego emisji. Aktualnym zatem pozostaje pytanie, w jaki sposób modelować emisję z tego typu obiektów.

Celowe wydaje się rozważenie opracowania nowego modelu, który umożliwiłby szacowanie emisji z otwartych zbiorników powierzchniowych.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2014, nr 4, s. 211–218

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt.: *Określenie źródeł i wielkości emisji zanieczyszczeń emitowanych do powietrza podczas wydobywania węglowodorów* – praca INiG na zlecenie MNiSW; nr archiwalny: DK-4100-28/13, nr zlecenia: 28/SN/13.

Literatura

- [1] Ciechanowska M. i in.: *Uwarunkowania rozwoju wydobycia gazu z polskich formacji łupkowych*. Nafta-Gaz 2013, nr 1, s. 7–17.
- [2] Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards: *Air Emissions Models for Waste and Wastewater*, 1994.
- [3] *Gradient, Review of Surface Impoundment Emissions Modeling Performed by New York State Department of Environmental Conservation. Draft Supplemental Generic Environmental Impact Statement on the Oil, Gas and Solution Mining Regulatory Program*, December 2009, Cambridge MA.
- [4] New York State Department of Environmental Conservation Division of Mineral Resources: *Draft Supplemental Generic Environmental Impact Statement on the Oil, Gas and Solution Mining Regulatory Program. Well Permit Issuance for Horizontal Drilling and High-Volume Hydraulic Fracturing to Develop the Marcellus Shale and Other Low-Permeability Gas Reservoirs*, September 2009.
- [5] Orlen Upstream: *Co warto wiedzieć o gazie z łupkow*, www.orlenupstream.pl/PL/GazLupkowy/Documents/Orlen_upstream_Lupki_PL/index.html
- [6] Steliga T., Uliasz M.: *Wybrane zagadnienia środowiskowe podczas poszukiwania, udostępniania i eksploatacji gazu ziemnego z formacji łupkowych*. Nafta-Gaz 2012, nr 5, s. 273–283.



Mgr inż. Grzegorz KOŁODZIEJAK
Asystent w Zakładzie Ocen Środowiskowych.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25A
31-503 Kraków
E-mail: grzegorz.kolodziejak@inig.pl

OFERTA

ZAKŁAD TECHNOLOGII ENERGII ODNAWIALNYCH

Zakres działania:

- prognozowanie produktywności gazowej składowisk odpadów komunalnych i ich weryfikacja poprzez testy aktywnego odgazowania;
- opracowanie koncepcji technologicznych instalacji do odgazowania składowisk i utylizacji biogazu wraz z doradztwem technicznym i oceną ekonomiczną energetycznego wykorzystania gazu;
- projektowanie i wykonawstwo instalacji odgazowania składowisk odpadów komunalnych;
- prowadzenie monitoringu składowisk odpadów;
- ocena zagrożeń powodowanych ekshalacjami metanu (złoża węglowodorów, składowiska odpadów);
- projektowanie instalacji automatycznego monitoringu powietrza glebowego;
- opracowanie raportów o oddziaływaniu na środowisko przedsięwzięć: branży górnictwa nafty i gazu, gazownictwa i gospodarki odpadami;
- przygotowywanie wniosków o pozwolenia zintegrowane dla składowisk odpadów oraz instalacji objętych obowiązkiem uzyskania tych pozwoleń.



Kierownik: mgr inż. Joanna Zaleska-Bartosz
Adres: ul. Bagrowa 1, 30-733 Kraków
Telefon: 12 617-74-78
Fax: 12 653-16-65
E-mail: zaleska-bartosz@inig.pl

