

Środowiskowe aspekty produkcji gazu ziemnego z niekonwencjonalnych złóż

Jan Macuda¹



Environmental aspects of unconventional gas production. Prz. Geol., 58: 266–270.

A b s t r a c t. Prospecting and production of natural gas from unconventional gas fields is performed through regular diameter, multi-bottom wells a few hundred to a few thousand meters deep. Due to their character, drilling such wells creates a potential threat for all environmental elements. The degree of potential environmental impact depends on numerous factors, the most important of which include: location of a rig, level of urbanization of an area, sensitivity of environment to pollution, as well as type and scope of operations stimulating flux of hydrocarbons to the wells. Drilling natural gas prospecting and production wells involves a number of technological operations which generate significant noise emission, air pollution with exhaust gas from driving engines and significant quantities of waste, especially waste from matrix acidizing and fracturing. The paper presents results of analyses of noise emission and air pollution generated by drilling machines selected for drilling deep prospecting and exploitation wells. The investigations were focused on rigs Skytop TR-800, National 110UE and IRI-750/Cabot, which differ in technical and technological parameters. The obtained results confirmed differences in environmental impact of individual types of rigs. The differences appeared related to distinct directional acoustic characteristics, oscillating noise level and magnitude of air pollution emissions. Figs. 1 and 2 show distribution of noise level *A* in proximity of rig IRI-750/Cabot and Skytop TR-800 during hoisting operations, and Fig. 3 — exemplary distributions of NO_2 and H_2S concentration in air near the rig during drilling operations. Types and quantities of waste generated in drilling natural gas wells to the depth of 3000 m and accompanying hydraulic fracturing of rocks, are also presented in the paper.

keywords: drilling rig, pollution, waste

Do poszukiwania i udostępniania złóż gazu ziemnego ze złóż niekonwencjonalnych służą otwory wiertnicze normalnośrednicowe, wielodenne, o głębokości od kilkuset do kilku tysięcy metrów. Wiercenie otworów, ze względu na swoją specyfikę oraz lokalizację, stanowi potencjalne zagrożenie dla wszystkich elementów środowiska naturalnego, a stopień oddziaływania prac wiertniczych jest uzależniony od wielu czynników. Do najważniejszych z nich można zaliczyć: usytuowanie wiertni w terenie, stopień zurbanizowania rejonu prowadzenia prac wiertniczych, wrażliwość poszczególnych elementów środowiska na zanieczyszczenie, typ urządzenia wiertniczego i moc zainstalowanych silników napędowych, głębokość wierconego otworu i technologię jego wykonania, rodzaj przewiercanych skał oraz rodzaj i zakres prac stymulujących dopływ węglowodorów do otworu (Zawisza & Macuda, 2007).

Charakterystyczną cechą wierceń mających na celu ujmowanie gazu ze złóż niekonwencjonalnych jest duża ilość zabiegów zwiększających dopływ gazu do otworu. W zależności od warunków geologicznych, konstrukcji otworów wielodennych oraz ich długości w strefie złożowej, wykonują się w nich od kilku do kilkunastu zabiegów szczelinowania. Pociąga to za sobą konieczność wykorzystania do celów technologicznych bardzo dużych ilości wody oraz środków chemicznych, niezbędnych do przygotowania cieczy technologicznych. Zabiegi stymulacji generują również duże ilości odpadów, które muszą być następnie poddane zabiegom utylizacji.

Środowiskowe uwarunkowania wiercenia otworów sięgających do złóż gazu niekonwencjonalnego będą szczególnie istotne ze względu na konieczność ich wykonania również w terenach objętych ochroną oraz o wysokim stopniu urbanizacji.

Zagrożenia środowiska naturalnego

Lista zagrożeń środowiska naturalnego, które występują podczas prowadzenia na lądzie wierceń poszukiwawczych za gazem ziemnym ze złóż niekonwencjonalnych, obejmuje (Macuda & Lewkiewicz-Małysa, 1999; Macuda i in., 1999; Zawisza & Macuda, 2007):

□ degradację gleb i pozbawienie terenu zajętego pod wiertnię i prowadzącą do niej drogę dojazdową możliwości pełnienia normalnych funkcji,

□ lokalne zanieczyszczenie powierzchni ziemi i gruntów paliwami, środkami myjącymi oraz materiałami służącymi do sporządzania płuczek wiertniczych i regulacji ich parametrów technologicznych,

□ uszkodzenie urządzeń i budowli wodnych oraz melioracyjnych w obrębie zajętego terenu,

□ zanieczyszczenie wód powierzchniowych, gruntów i wód podziemnych w wyniku awaryjnego odprowadzania do nich ścieków, przenikania zanieczyszczeń ze zbiorników odpadów lub migracji zanieczyszczeń rozlanych na terenie wiertni,

□ zaburzenia równowagi hydrogeologicznej w związku z niedoskonałą izolacją przewiercanych poziomów wodonośnych, zwłaszcza wód użytkowych,

□ zanieczyszczenie wód podziemnych filtratem z płuczki w wyniku jej ucieczki do górotworu,

□ nadmierne pobory wody z ujęć lokalnych,

□ emisję hałasu z urządzeń wiertniczych,

□ emisję do atmosfery zanieczyszczeń powstałych w wyniku spalania paliw,

□ awaryjne zrzuty do środowiska płuczek lub płynów złożowych (solanki, gazu ziemnego, ropy naftowej i siarkowodoru),

□ migrację gazu ziemnego do strefy przyodwiertowej i emisję do atmosfery.

Do degradacji środowiska gruntowego dochodzi głównie w trakcie prowadzenia prac przygotowawczych i montażowych, które obejmują, oprócz przygotowania dróg dojazdowych i terenu wiertni, również wykonanie

¹Wydział Wiertnictwa Nafty i Gazu, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; macuda@agh.edu.pl

fundamentów pod urządzenia technologiczne. Podczas wiercenia otworów poszukiwawczych o głębokości 3000–5000 m powierzchnia terenu zajmowanego przez wiertnię i drogi dojazdowe zawiera się najczęściej w przedziale 8000–15 000 m². W ramach prac związanych z przygotowaniem terenu wiertni wykonuje się również uszczelnienie, za pomocą geomembrany, miejsc przeznaczonych do magazynowania paliw, materiałów płuczkowych i napowierzchniowego systemu oczyszczania płuczki. Na etapie prac przygotowawczych dochodzi też do uszkodzenia urządzeń i budowli wodnych oraz melioracyjnych.

Wiercenie otworu poszukiwawczego lub eksploatacyjnego za gazem ziemnym jest związane z wykonywaniem wielu operacji technologicznych, podczas których może dochodzić do zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego oraz do istotnej emisji hałasu do środowiska i zanieczyszczeń gazowych do atmosfery z pracujących silników napędowych.

Do zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego dochodzi najczęściej podczas magazynowania i dystrybucji oleju napędowego, magazynowania materiałów płuczkowych, sporządzania i oczyszczania płuczki, czasowego magazynowania ścieków i odpadów wiertniczych na terenie wiertni oraz w trakcie przygotowania i prowadzenia zabiegów szczelinowania warstw produktywnych.

Istotne zanieczyszczenie wielu elementów środowiska może również wystąpić w przypadkach awaryjnych zrzutów płuczki, solanki, gazu ziemnego i ropy naftowej oraz towarzyszącego im zazwyczaj siarkowodoru. Do sytuacji awaryjnych dochodzi najczęściej w przypadku trudnych do przewidzenia warunków złożowych, błędów załogi, zawodności stosowanego sprzętu, a także w przypadku nawiercania struktur zbiornikowych zawierających płyny złożowe pod anomalnie wysokim ciśnieniem. W celu zminimalizowania prawdopodobieństwa wystąpienia tego typu awarii prowadzi się podczas wiercenia prognozowanie warunków złożowych, umożliwiające dobór odpowiednich parametrów technologicznych płuczki wiertniczej.

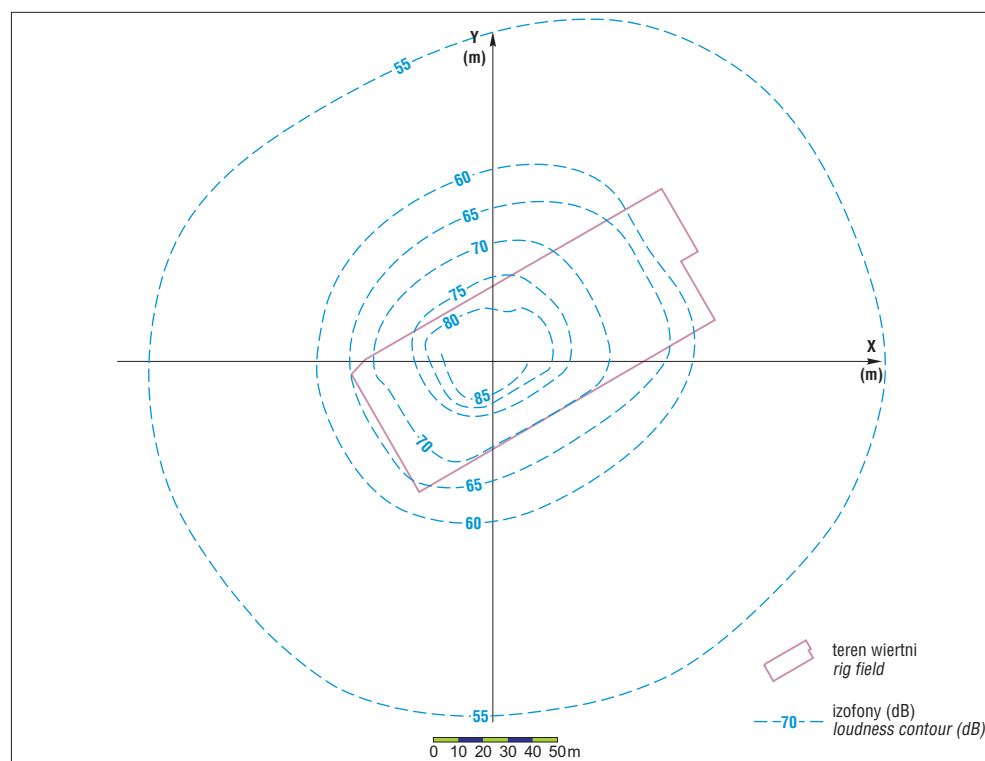
Badania emisji hałasu do środowiska

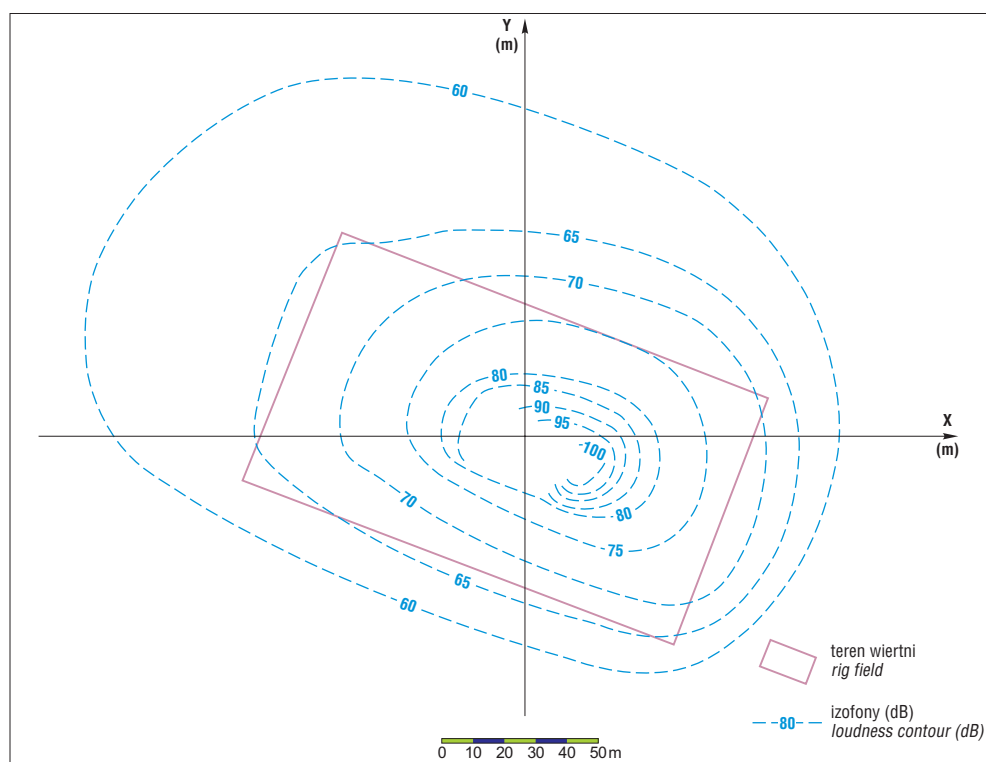
Do głównych źródeł hałasu na terenie wiertni należą agregaty prądowoprężne, silniki napędowe urządzenia wiertniczego i pomp płuczkowych, pompy płuczkowe oraz sita wibracyjne. Agregaty prądowoprężne najczęściej znajdują się w pomieszczeniach zamkniętych, ze ściankami o niewielkiej izolacyjności akustycznej, natomiast silniki napędowe i pompy płuczkowe są całkowicie lub częściowo osłonięte wiatą lub też częściowo zabudowane. Sita wibracyjne są na ogół całkowicie odsłonięte.

Aby przedstawić wpływ prac wiertniczych na rozchodzenie się dźwięku w rejonie wiertni, wykonano badania hałasu w trakcie wiercenia 3 otworów poszukiwawczych urządzeniami *Skytop TR-800*, *National 110UE* i *IRI-750/Cabot*. Pomiary hałasu w rejonie wybranych wiertni wykonano precyzyjnym miernikiem poziomu dźwięku firmy *Norsonic* typu *NOR-121*, mającym aktualne świadectwo legalizacji. Miernik ten umożliwia m.in. pomiar: maksymalnych, minimalnych i ekwiwalentnych wartości poziomów dźwięku (L_{max} , L_{min} , L_{eq}) oraz równoważnych poziomów dźwięku (L_{Aeq}) z wybranymi charakterystykami korekcyjnymi A, C lub LIN. W czasie wykonywania badań akustycznych, mierzono poziomy L_{Amax} , L_{Amin} , L_{Aeq} . Dynamika przyrządu jest nie mniejsza niż 80 dB, zakres częstotliwości 10–20 kHz, zakres pomiarowy od ok. 20 dB do ok. 130 dB dźwięku A. Przyrząd umożliwia rejestrację sygnału (L_{Amax} , L_{eq} , L_{peak}) do bufora o określonej rozdzielczością, co jest szczególnie wygodne ze względu na eliminację zakłóceń. W trakcie wykonywania pomiarów na mierniku poziomu dźwięku wybrano profil z charakterystyką korekcyjną A i stałą czasową SLOW. W trakcie pomiarów hałasu warunki meteorologiczne nie przekraczały określonych w instrukcji obsługi przyrządu. Przykładowe wyniki badań akustycznych w postaci graficznej w rejonie wiertni *IRI-750/Cabot* i *Skytop TR-800* przedstawiono na rycinach 1 i 2.

Ryc. 1. Rozkład poziomu dźwięku A w otoczeniu wiertni *IRI-750/Cabot*

Fig. 1. Distribution of noise A level in the neighborhood of rig *IRI-750/Cabot*





Ryc. 2. Rozkład poziomu dźwięku A w otoczeniu wiertni Skytop TR 800

Fig. 2. Distribution of noise A level in the neighborhood of rig Skytop TR 800

Wyniki badań akustycznych poziomów dźwięku A na granicach obszarów badanych wiertni przedstawiono w tabeli 1. Z ich analizy wynika, że w zależności od usytuowania podzespołów poszczególne urządzenia wiertnicze w zróżnicowany sposób oddziałują na środowisko. Świadczą o tym wyraźnie kierunkowe charakterystyki akustyczne, a także zmierzone poziomy hałasu na granicy wiertni (tab. 1).

Duża rozpiętość poziomu hałasu na granicy poszczególnych wiertni wskazuje na możliwości zmniejszenia jego oddziaływania na otoczenie poprzez odpowiednią lokalizację najgłośniejszych podzespołów w stosunku do obiektów chronionych oraz wykorzystanie efektu ekranowania innych podzespołów i urządzeń wiertni (Wszółek i in. 2002; Dubiel i in., 2003; Macuda & Łukańko, 2008). Dotyczy to jednak niewielkiej odległości od wiertni, do ok. 200 m. W dalszej odległości rozkład poziomu dźwięku wokół wszystkich urządzeń wiertniczych dąży do rozkładu kołowego. Przyjmując dla terenów, gdzie są prowadzone wiercenia, typowe wartości dopuszczalne hałasu dla pory nocnej, wyznaczono przeciętne zasięgi uciążliwości akustycznej poszczególnych urządzeń wiertniczych (tab. 2).

Badania emisji zanieczyszczeń do atmosfery

W celu ustalenia wielkości emisji zanieczyszczeń z silników spalinowych z zapłonem samoczynnym zainstalowanych na terenie wytypowanych do badań 3 wiertni, wykonano pomiary stężeń SO_2 , H_2S , CO_2 , NO_2 , pyłu zawieszonego (PM 10) oraz węglowodorów alifatycznych w gazach odlotowych oraz określono natężenie ich przepływu. Pomiary te wykonano za pomocą analizatorów gazów typu: Lancom Series III firmy Land Combustion oraz QRAE Plus firmy RAE Systems.

Na podstawie wielkości emisji, czasu jej trwania, parametrów emitorów oraz warunków meteorologicznych w sposób analityczny (dzięki zastosowaniu metodyki refe-

rencyjnej modelowania poziomów substancji w powietrzu) oceniono wpływ emisji na jakość powietrza oraz stopień dotrzymania obowiązujących standardów. Obliczone maksymalne wartości stężeń badanych substancji występują w odległości 18–31 m od źródeł emisji (Zawisza & Macuda, 2007). Stężenia te występują przy prędkości wiatru 1,0 m/s i w stałym stanie równowagi atmosfery.

Ponadto w rejonie badanych wiertni wykonano pomiary stężeń w powietrzu atmosferycznym substancji emitowanych również z innych urządzeń mechanicznych, co pozwoliło bezpośrednio określić wpływ emisji na jakość

Tab. 1. Wahania poziomów L_{Aeq} na granicach obszarów badanych wiertni

Table 1. L_{Aeq} level oscillations at the edge of studied rig areas

Lp. No	Urządzenie wiertnicze Drilling rig	Poziom L_{Aeq} (dB) L_{Aeq} level (dB)	
		Min. Min	Maks. Max
1	Skytop TR-800	61	72
2	National 110UE	64	76
3	IRI-750/Cabot	62	74

Tab. 2. Przeciętne zasięgi izolinii 35, 40 i 45 dB dla terenu otwartego

Table 2. Average ranges of loudness contours 35, 40 and 45 dB for an open area

Lp. No	Urządzenie wiertnicze Drilling rig	Zasięgi izolinii (m) Isoline extend (m)		
		35 dB	40 dB	45 dB
1	Skytop TR-800	746	568	427
2	National 110UE	781	598	438
3	IRI-750/Cabot	762	587	439

powietrza w ich otoczeniu. Analizując otrzymane wyniki maksymalnych stężeń badanych substancji poza obszarem wiertni na poziomie terenu, można stwierdzić, że istnieje możliwość przekraczania dopuszczalnych stężeń jednogodzinnych NO_2 i pyłu zawieszonego (PM 10). Przekroczenia dopuszczalnych stężeń jednogodzinnych występują w odległości: NO_2 do ok. 300 m od wiertni oraz pyłu PM 10 do ok. 20 m od wiertni (ryc. 3).

Rodzaj i ilość odpadów powstających podczas wiercenia otworów

W procesie wiercenia otworu powstają odpady wiertnicze, które charakteryzują się znacznym zróżnicowaniem pod względem składu chemicznego i właściwości mechanicznych oraz potencjalnej szkodliwości dla środowiska. Przyjmując kryterium właściwości fizykochemicznych, spośród odpadów wiertniczych można wyróżnić zwierciny pochodzące ze wszystkich przewiercanych skał występujących w profilu otworu, a także płuczki wiertnicze używane do wiercenia otworu (Macuda i in., 1999; Kołtwan i in., 2002).

Do głównych źródeł zanieczyszczeń występujących w odpadach wiertniczych należy zaliczyć: środki chemiczne używane do sporządzania i regulacji parametrów technologicznych płuczek wiertniczych, biocydy, substancje ropopochodne, inhibitory korozji, środki chemiczne stosowane do dowiercania złóż i stymulacji dopływu węglowodorów oraz płyny złożowe w postaci solanki i ropy naftowej.

W Polsce do wiercenia otworów poszukiwawczych za złożami węglowodorów stosuje się kilka rodzajów płuczek, m.in. chlorkowo-potasową, polimerowo-potasową, beziłową, kationową, „X-pol” i bentonitową. Decyzję o doborze rodzaju płuczki podejmuje się każdorazowo po uwzględnieniu warunków geologicznych, złożowych i technicznych wiercenia otworu.

W trakcie wiercenia otworu, jego orurowania, cementowania kolumn rur okładzinowych oraz wykonywania zabiegów kwasowania i szczelinowania skał produktywnych powstają również dodatkowe ilości innych rodzajów odpadów, takich jak: uwodnione osady z oczyszczania ścieków przemysłowych, resztki zaczynów cementowych, płyny poreakcyjne po zabiegach stymulacyjnych, odpady powstające podczas eksploatacji urządzeń mechanicznych czy odpady komunalne (Macuda & Zawisza, 2006; Zawisza & Macuda, 2007).

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. Nr 112, poz. 1206), powstające podczas głębienia otworu poszukiwawczego odpady wiertnicze można zakwalifikować jako (* — odpady niebezpieczne):

- 01 05 05* — płuczki i odpady wiertnicze zawierające ropę naftową,
- 01 05 06* — płuczki i odpady wiertnicze zawierające substancje niebezpieczne,
- 01 05 07 — płuczki wiertnicze zawierające baryt i odpady inne niż wymienione w 01 05 05 i 01 05 06,
- 01 05 08 — płuczki wiertnicze zawierające chlorki i odpady inne niż wymienione w 01 05 05 i 01 05 06,

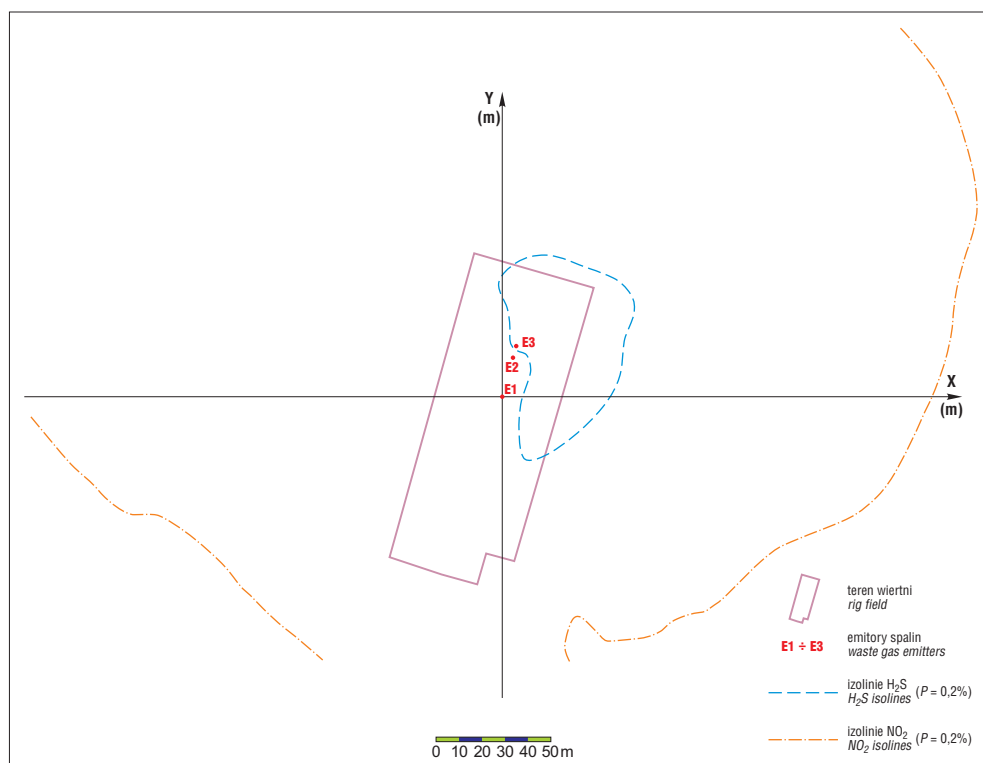
Część z wymienionych odpadów wiertniczych to odpady niebezpieczne, które podczas magazynowania na terenie wiertni wymagają odpowiednich zabezpieczeń przed przedostaniem się ich do środowiska gruntowo-wodnego.

Oprócz odpadów wiertniczych na terenie wiertni powstają również:

- 06 04 04* — odpady zawierające rtęć,
- 07 02 13 — odpady z tworzyw sztucznych,
- 08 01 11* — odpady farb i lakierów zawierających rozpuszczalniki organiczne lub inne substancje niebezpieczne,

Ryc. 3. Przykładowy rozkład koncentracji NO_2 i H_2S w powietrzu w otoczeniu wiertni z pracującym urządzeniem IRI-750/Cabot (P — stężenie)

Fig. 3. Exemplary distribution of NO_2 and H_2S concentration in air in the neighborhood of a rig cooperating with IRI-750/Cabot (P — concentration)



- 13 01 05* — emulsje olejowe niezawierające związków chlorowcoorganicznych,
- 13 01 10* — mineralne oleje hydrauliczne niezawierające związków chlorowcoorganicznych,
- 13 02 05* — mineralne oleje silnikowe, przekładniowe i smarowe niezawierające związków chlorowcoorganicznych,
- 13 02 06* — syntetyczne oleje silnikowe, przekładniowe i smarowe,
- 13 02 08* — inne oleje silnikowe, przekładniowe i smarowe,
- 15 02 02* — sorbenty, materiały filtracyjne (w tym filtry olejowe nie ujęte w innych grupach), tkaniny do wycierania (np. szmaty, ścierki) i ubrania ochronne zanieczyszczone substancjami niebezpiecznymi (np. PCB),
- 16 01 07* — filtry olejowe,
- 16 01 13* — płyny hamulcowe,

W tabeli 3 zestawiono główne rodzaje i ilości odpadów powstających podczas wiercenia otworu poszukiwawczego do głębokości 3000 m i wykonania w nim zabiegów stymulujących dopływ płynów złożowych do otworu.

Wnioski

1. Wpływ prac wiertniczych, wykonywanych w celu udostępnienia niekonwencjonalnych złóż gazu, na środowisko jest bardzo zróżnicowany i w istotnym stopniu zależy od: stanu stopnia zurbanizowania obszaru prowadzenia prac wiertniczych, wrażliwości poszczególnych elementów środowiska i zastosowanej organizacji oraz techniki i technologii wiercenia.

2. W celu zmniejszenia negatywnego wpływu prac wiertniczych na środowisko należy dążyć do ograniczenia wielkości terenu zajmowanego pod wiertnie i drogi dojazdowe, emisji hałasu do środowiska i zanieczyszczeń do atmosfery oraz ilości i toksyczności powstających odpadów.

3. Emisja hałasu do środowiska przez poszczególne urządzenia wiertnicze jest zróżnicowana i zależy w dużej mierze od położenia dominujących źródeł hałasu na terenie wiertni oraz stopnia ekranowania hałasu przez obiekty i urządzenia pomocnicze.

4. Przeciętny zasięg izofony 45 dB, najczęstszej wartości dopuszczalnej w porze nocnej w rejonie badanych wiertni, zawiera się w przedziale 427–439 m.

5. Podczas wiercenia otworów poszukiwawczych istnieje możliwość przekraczania w powietrzu poza terenem wiertni dopuszczalnych stężeń niektórych zanieczyszczeń emitowanych z urządzeń wiertniczych.

Tab. 3. Zestawienie ilości głównych rodzajów odpadów powstających podczas wiercenia odwiertu poszukiwawczego do głębokości 3000 m

Table 3. Quantitative list of main types of waste produced during drilling exploratory well 3000-m deep

Lp. No	Rodzaj odpadu Type of waste	Ilość wytworzonego odpadu (kg) Waste quantity (kg)
1	zużyta płuczka, zwierciny <i>waste drilling mud, cuttings</i>	2 849 000
2	odpady z tworzyw sztucznych <i>plastic waste</i>	370
3	zużyte oleje <i>spent oil</i>	500
4	zaolejone czyściwo <i>oil saturated cleaner</i>	100
5	lampy fluorescencyjne i inne odpady zawierające rtęć <i>fluorescent lamps and other mercury-containing waste</i>	30
6	odpady spawalnicze i zużyte elektrody <i>welding waste and spent electrodes</i>	20
7	złom żelaza i stali <i>scrap iron and steel</i>	1 000
8	odpady po zabiegach stymulujących dopływ płynu złożowego do otworu <i>waste from stimulation of reservoir fluid inflow</i>	238 000

Literatura

- DUBIEL S., MACUDA J. & JAMROZIK A. 2003 — Ocena wpływu technologii stosowanych w wiertnictwie naftowym na środowisko gruntowo-wodne. *Wiertnictwo, Nafta, Gaz*, 20, 2: 331–342.
- ENGEL Z. 2001 — Ochrona środowiska przed drganiem i hałasem. WNT, Warszawa.
- KOŁWZAN B., ŚLIWKA A., MACUDA J. & SURYGALA J. 2002 — Ocena biodegradowalności zanieczyszczeń naftowych w odpadach wiertniczych. *Wiertnictwo, Nafta, Gaz*, 19, 2: 393–401.
- MACUDA J. & LEWKIEWICZ-MAŁYSA A. 1999 — Toxic chemical waste deposition in deep post-extraction Wells. [W:] *Netradiční metody využití ložisek. II. Mezinárodní konference; Ostrava 17–18.11.1999*. VSB, Ostrava: 76–81.
- MACUDA J. & ŁUKAŃKO Ł. 2008 — Pomiary hałasu środowiskowego w przemyśle naftowym i gazowniczym. *Wiertnictwo, Nafta, Gaz*, 25, 1: 37–42.
- MACUDA J., NAGY S. & ZAWISZA L. 1999 — Prognozowanie wpływu odpadów wiertniczych deponowanych w zbiorczym dole urobkowym na wody podziemne. [W:] *X Konferencja Naukowo-Techniczna — Nowe metody i technologie w geologii naftowej, wiertnictwie, eksploatacji otworowej i gazownictwie*, Kraków, 24–25.06.1999, AGH, Kraków: 409–419.
- MACUDA J. & ZAWISZA L. 2006 — Techniczne uwarunkowania składowania odpadów płynnych w górotworze metodą otworową. *Wiertnictwo, Nafta, Gaz*, 23, 1: 333–340.
- Rozporządzenie** Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów. Dz.U. z 2001 r. Nr 112, poz. 1206.
- WSZOŁEK T., MACUDA J., WSZOŁEK W. & STRYNIOWICZ L. 2002 — Analiza wpływu urządzeń wiertniczych na klimat wibroakustyczny środowiska. *Wiertnictwo, Nafta, Gaz*, 19, 2: 463–468.
- ZAWISZA L. & MACUDA J. 2007 — Ocena zagrożeń dla środowiska naturalnego występujących przy poszukiwaniu i rozpoznawaniu oraz podczas eksploatacji złóż węglowodorów. CAG PIG, Warszawa.

Praca wpłynęła do redakcji 18.02.2010 r.

Po recenzji akceptowano do druku 22.02.2010 r.