

Krzysztof KORCZAK, Andrzej DAWIDOWSKI

Główny Instytut Górnictwa  
Katowice

## WODA W PROCESIE WYDOBYCIA GAZU ŁUPKOWEGO – UWARUNKOWANIA TECHNOLOGICZNE I ŚRODOWISKOWE

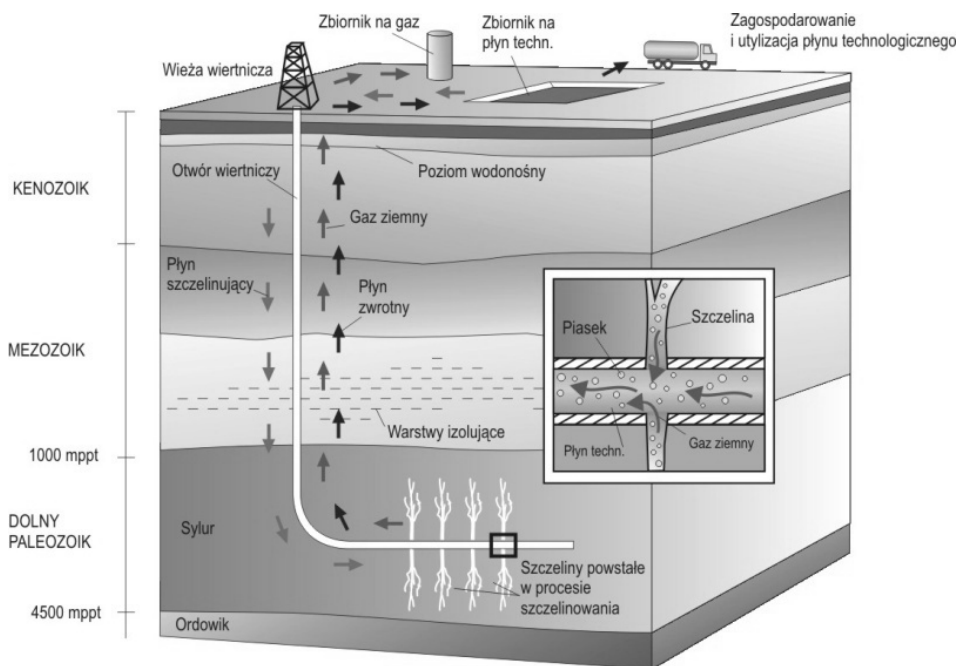
WATER IN THE PROCESS OF SHALE GAS EXPLOITATION -  
TECHNOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL CONDITIONS

*The article discusses the role of water in the shale gas exploitation, presents water balance sheet, changes in chemical composition during the process and possible ways of its development, also in Polish conditions. The authors relied mainly on data from studies in the U.S., as well as on the first Polish experiences related to the operation of gas and its impact on the environment. In the process of shale gas exploration is used advanced technology, mainly based on the hydraulic fracturing, which application might impact on the environment on variable scale. It is therefore important to identify potential hazards and to identify elements of the environment under pressure. Since the hydraulic fracturing process consumes considerable amounts of water and produces a certain amount of waste it is important to the way they are managed*

### 1. Wprowadzenie

**Gaz łupkowy** (z ang. *shale gas*) to metan uwięziony w skałach łupkowych. Pozy-skiwanie gazu z takich niekonwencjonalnych złóż jest procesem technologicznie za-awansowanym, gdyż formacje łupkowe charakteryzują się znikomą przepuszczalnością (0,1–0,001 mD). Ma na to wpływ także zaleganie złóż na głębokości nawet do kilku km pod powierzchnią terenu.

Podstawowym zabiegiem umożliwiającym rozpoczęcie eksploatacji gazu łupkowego jest zmiana parametrów struktur skalnych formacji łupkowych, tak aby zwiększona została ich przepuszczalność. W tym celu stosuje się **szczelinowanie hydrauliczne** (z ang. *hydraulic fracturing*), które polega na włączaniu do górotworu odpowiednio przygotowanego płynu. Powoduje to powstanie w strukturach łupkowych głębokich szczelin, osiagających długość kilkadziesiąt metrów [1], [11]. W tak powstałe szczeliny włączany jest piasek (lub tzw. proppant), który uniemożliwia ich zamknięcie, tworząc jednocześnie drogi migracji dla gazu wydostającego się przez otwór wiertniczy na powierzchnię terenu. Uproszczony schemat procesu szczelinowania przedstawiony został na poniższym rysunku (rys. 1) [7].



Rys. 1. Uproszczony schemat procesu szczelinowania hydraulicznego w warunkach polskich

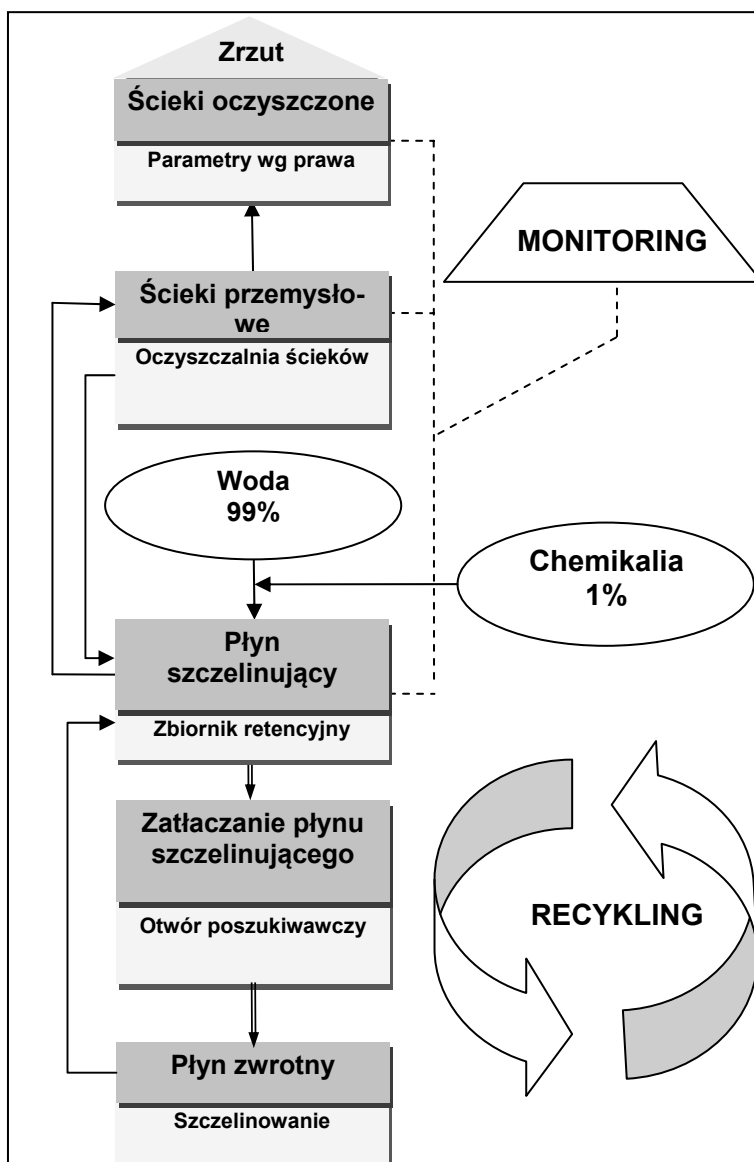
Fig. 1. Simplified diagram of the process of hydraulic fracturing in Polish conditions

Proces udostępnienia złoża gazonośnego omawianą metodą polega na wykonaniu dużej ilości zabiegów szczelinowania, co wymaga zużycia znacznej ilości wody, nawet około 20 000 m<sup>3</sup>/otwór. Do płynu szczelinującego dodaje się w niewielkich ilościach niezbędne substancje chemiczne poprawiające efektywność zabiegu szczelinowania. Skład i parametry płynu objęte są ścisłą kontrolą podczas prowadzenia zabiegów szczelinowania [1].

Po zakończeniu szczelinowania powstają odpady wiertnicze, w tym płyn technologiczny (nadmiar płynu szczelinującego), które muszą zostać zagospodarowane zgodnie z wymogami prawa w sposób niezagrażający środowisku. Zużyty do procesu szczelinowania płyn zwrotny (technologiczny) zawiera znaczne stężenie zanieczyszczeń, których nie można wprowadzać bezpośrednio do środowiska. Jego właściwe zagospodarowanie, uwzględniające technologiczne i środowiskowe aspekty, jest istotną kwestią w kontekście planowanej w Polsce eksploatacji gazu łupkowego. Obieg wody w procesie szczelinowania hydraulicznego przedstawia rysunek 2.

Prawdopodobnie kwestia zagospodarowania płynu zwrotnego stanowiącego odpad ciekły lub ścieki przemysłowe wymagające oczyszczenia, przy szybkim wzroście liczby nowych odwiertów w kraju stanie się istotnym problemem, który będzie musiał zostać rozwiązany, także od strony formalnoprawnej. W myśl polskiego ustawodawstwa, płuczka wiertnicza zaliczana jest do odpadów i nie może być oczyszczana w komunalnych oczyszczalniach, ani zatłaczana pod ziemię. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra

Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów [12]. Zasolone ścieki przemysłowe mogą być wprowadzane do środowiska na warunkach określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska naturalnego [13].



Rys. 2. Obieg wody w procesie szczelinowania hydraulicznego

Fig. 2. Water circulation in the process of hydraulic fracturing

## 2. Woda w procesie szczelinowania

Podczas procesu szczelinowania do jednego otworu, w zależności, m.in. od formacji łupków i ich charakterystyki, włącza się średnio od 2 do 4 tys. m<sup>3</sup> wody. Według innych źródeł zużycie wody może być znacznie większe sięgając 20 tys. m<sup>3</sup> [1]. Do wody dodawany jest piasek (lub proppant) w ilości około 450–680 Mg oraz substancje chemiczne poprawiające efektywność procesu szczelinowania. Całość tłoczona jest do otworu pod ciśnieniem sięgającym 60 MPa. W jednym otworze wykonuje się zwykle od kilku do kilkunastu szczelinowań [14].

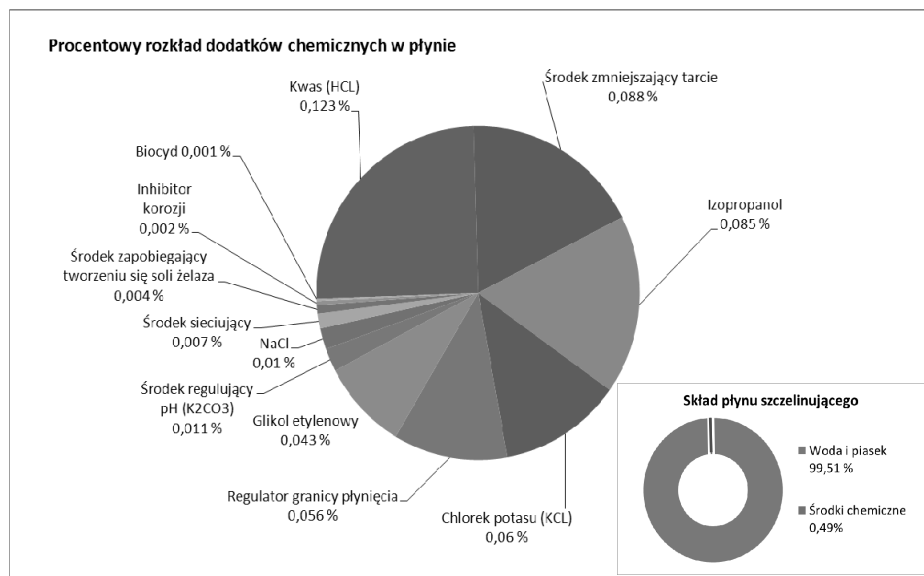
Proces szczelinowania wymaga każdorazowego zaplanowania szeregu działań, w tym logistycznych, umożliwiających sprawny obieg wody. Przed rozpoczęciem prac na miejscu wykonywania procesu musi być dostępna odpowiednia ilość wody. Woda przeznaczona do szczelinowania pozyskiwana jest z wierconych studni lub dowożona na teren wiertni, a następnie może być przechowywana w sztucznych, szczelnych zbiornikach (basenach) o pojemności od 6000 do 12 000 m<sup>3</sup> [9].

Rozpoczęcie oraz proces szczelinowania związane są z szeregiem prac obejmujących, m.in. rozpoznanie warunków geologicznych i hydrogeologicznych górotworu oraz organizacją monitoringu dla wszystkich etapów procesu szczelinowania. Zdefiniowanie potencjalnych dróg migracji płynu technologicznego procesowego, jak również analiza procedur zagospodarowania powstających ścieków przemysłowych ogranicza ryzyko środowiskowe związane z udostępnieniem i eksploatacją gazu łupkowego.

### 2.1. Ogólna charakterystyka płynu do szczelinowania

Podstawowym zadaniem płynu do szczelinowania hydraulicznego jest utworzenie lub powiększenie szczelin w skałach gazonośnych. Płyn technologiczny stosowany do szczelinowania łupków, o ściśle kontrolowanym składzie, zawiera szereg związków chemicznych spełniających określone zadania. W przypadku wydobycia gazu łupkowego do samego wiercenia i ochrony głowicy stosuje się płuczkę wiertniczą, którą może być woda z dodatkiem substancji chemicznych lub olej mineralny. Płyn szczelinujący wprowadzany jest po zakończeniu wiercenia. Dodanie chemikaliów ma na celu zmniejszenie tarcia oraz ochronę przed korozją. Ponad 99% płynu stanowi mieszanina wody z materiałem podsadzkowym (piasek, piasek syntetyczny – proppant i płyny polimerowe), natomiast pozostały 1% zajmują dodatki chemiczne, takie jak: kwas solny, aldehyd glutarowy, nadsiarazan amonu, formamid, sole boranowe, węglowodory ropopochodne, guma guar lub hydroksyetyloceluloza, kwas cytrynowy, chlorek potasu, węglan potasu, glikol etylenowy, izopropanol [4]. Przykładowy skład płynu technologicznego przedstawiono na rysunku 3.

W latach 2005–2009 w USA używano ponad 2500 zestawów chemikaliów służących do sporządzenia płynu szczelinującego. W składzie preparatów zidentyfikowano 750 związków chemicznych [15]. W tym okresie najpowszechniej stosowaną substancją chemiczną w procesie szczelinowania był metanol, którego obecność stwierdzono w 342 preparatach (produktach handlowych) wykorzystywanych do hydraulicznego szczelinowania (tab. 1).



Rys. 3. Skład płynu szczelinującego.

Fig. 3. Volumetric composition of a fracturing fluid

Stosowane w procesie szczelinowania substancje chemiczne wykorzystuje się powszechnie, m.in. w budownictwie, przemyśle kosmetycznym, spożywczym oraz farmaceutycznym [4], a metody unieszkodliwiania tych substancji stosowane są na skalę przemysłową.

Tab. 1. Substancje chemiczne używane do szczelinowania [3]

Tab. 1. The chemicals used for fracturing [3]

Chemiczny składnik	Liczba produktów zawierających składnik
Metanol (alkohol metylowy)	342
Izopropanol (Alkohol izopropylowy, Propan-2-ol)	274
Krzemionka krystaliczna – kwarc (SiO <sub>2</sub> )	207
Glikol etylenowy eter monobutyłowy (2-butoksyetanol)	126
Glikol etylenowy (1,2-etanodiol)	119
Hydrorafinowana ropa naftowa	89
Wodorotlenek sodu	80

## 2.2. Powstawanie ścieków i ich wpływ na środowisko

Dostępne dane wskazują, że podczas prawidłowo przeprowadzonych procesów szczelinowania w USA, nie zaobserwowano migracji płynu technologicznego do warstw wodonośnych wykorzystywanych jako źródło wody pitnej. Proces szczelinowania jest dla tych zasobów wód podziemnych bezpieczny. Zabieg szczelinowania odbywa się poniżej strefy wód podziemnych, która jest odizolowana od formacji łupkowych nieprzepuszczalnymi warstwami skalnymi [1], [5]. W praktyce, w ramach procesu szczelinowania hydraulicznego, od 75 do 85% płynu szczelinującego pozostaje głęboko pod ziemią, dzięki niskiej przepuszczalności skał.

Zużyty płyn szczelinujący (płyn zwrotny) charakteryzuje się podwyższonym poziomem zasolenia oraz podwyższonym stężeniem węglowodorów [9]. W ciągu kilku dni po procesie szczelinowania wzrasta zawartość zawiesiny w otworze wiertniczym. Dzięki znacznemu spadkowi natężenia przepływu, zasolenie płynu szczelinującego stabilizuje się [1]. Płyn zwrotny po szczelinowaniu hydraulicznym ma skład i cechy zbliżone do odpadów ciekłych wytwarzanych w procesie produkcji gazu konwencjonalnego. Charakteryzuje się niewielką koncentracją zawiesiny i podobną zawartością substancji organicznych. Płyn zwrotny zawiera rozpuszczone substancje wylugowane ze szczelinowanych pokładów: węglany, chlorki, siarczany, azotany, sól i inne minerały [1]. Poddawane szczelinowaniu łupki bitumiczne zawierają do 25% substancji organicznych, a także związki zawierające siarkę i azot oraz metale ciężkie (w tym: rtęć, kadm, cynk, ołów, miedź, arsen, nikiel, chrom, kobalt i wanad), niekiedy także pierwiastki promieniotwórcze. Związki te najczęściej nie rozpuszczają się w wodzie w normalnych warunkach ciśnienia i temperatury. Jednak wysokie ciśnienie i temperatury, jakie panują na głębokościach powyżej 3000 m mogą umożliwiać częściowe przechodzenie do roztworów niektórych substancji, które po powrocie na powierzchnię wytrącają się w postaci osadów (szlamów).

## 3. Wyniki badań wody technologicznej

W 2011 roku w otworze Łebień LE-2H, zlokalizowanym na obszarze koncesyjnym Lębork, w ramach koncesji na poszukiwanie i rozpoznawanie niekonwencjonalnych złóż gazu ziemnego, przeprowadzono pierwsze w Polsce szczelinowanie hydrauliczne łupków gazonośnych. Podczas wykonywania prac związanych ze szczelinowaniem (w tym przygotowawczych) do otworu zatłoczono łącznie 21 240,19 m<sup>3</sup> wody technologicznej. W samym procesie szczelinowania, wykonywanym w 13 interwałach głębokości zużyto 17 322,6 m<sup>3</sup> wody, z dodatkem 462,09 m<sup>3</sup> substancji chemicznych oraz 1271,88 Mg proppantu [2].

W przypadku otworu Łebień LE-2H, na skutek kontaktu z silnie zasoloną wodą i samymi łupkami w strefie szczelinowania, płyn został wzbogacony o chlorki i sole baru (tab. 2). Ponadto wyniki badań wykazały podwyższoną toksyczność zanieczyszczeń zawartych w ściekach dla niektórych grup organizmów – skorupiaków oraz roślin [2].

Na podstawie wyników badań środowiskowych procesu szczelinowania hydraulicznego wykonanego w otworze Łebień LE-2H, na poniższym rysunku (rys. 4) przedstawiono zmiany wybranych parametrów płynu szczelinującego, w poszczególnych etapach procesu szczelinowania (opis próbek, taki jak w tab. 2). W trakcie procesu następuje wzrost stężenia poszczególnych wskaźników zanieczyszczenia. Po powtórny zatłoczeniu i odbiorze płynu technologicznego, na etapie zamknięcia otworu, płyn technologiczny poddany jest oczyszczaniu, a wielkość stężeń zanieczyszczeń zbliżona do stanu zanotowanego na początku procesu szczelinowania.

Tab. 2. Zestawienie wybranych parametrów wody technologicznej w otworze Łebień LE-2X [2]

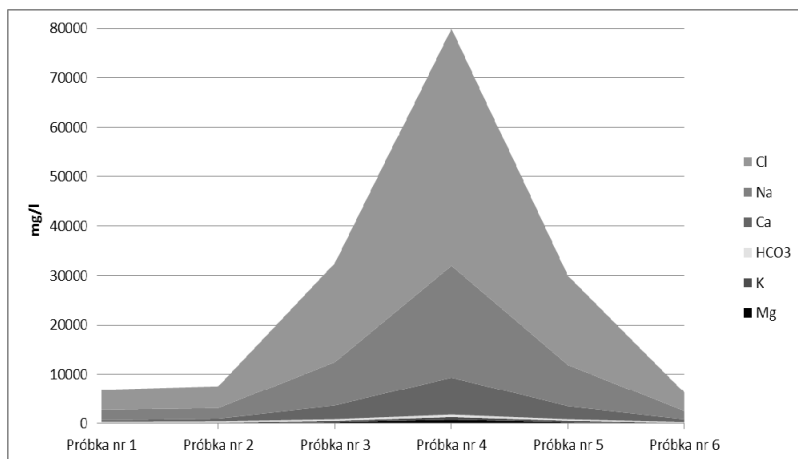
Tab. 2. Summary of selected parameters of the flowback fluid in the borehole Łebień LE-2X

Parametr	Jednostka	Próbka nr 1	Próbka nr 2	Próbka nr 3	Próbka nr 4	Próbka nr 5	Próbka nr 6
Odczyn	pH	6,35	5,8	6,63	6,72	6,01	7,47
Przewodność	mS/cm	12,14	13,76	53,1	123,4	49,6	11,93
Zasadowość	mg CaCO <sub>3</sub> /l	173	199	293	417	260	136
OWO	mg/l	82	34	67	129	74	11
Indeks fenolowy	mg/l	8	8	15	20	15	< 2
Cyjanki	mg/l	< 0,2	< 0,2	< 0,5	< 1,0	< 0,5	< 0,2
Substancje pow. czynne anionowe	mg/l	< 0,5	8	13	31	11	1
F <sup>-</sup>	mg/l	0,5	1,2	6,1	4,9	3,1	1,6
Cl <sup>-</sup>	mg/l	4100	4500	20000	48000	18000	3800
Br <sup>-</sup>	mg/l	25	40	200	500	180	40
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0,5	0,8	1,8	4,2	1,7	0,6
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0,5	0,5	2,2	7,1	2,3	0,4
HPO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/l	< 3	< 3	< 30	< 90	< 30	< 3
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	52	< 5	< 50	< 150	< 50	29
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	211	243	357	509	317	166
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	9	12	57	159	52	11
B <sub>og</sub>	mg/l	2,5	3,8	15,3	40,1	14,4	2,7
Ba <sup>2+</sup>	mg/l	5,3	10,4	75,4	217,9	70,1	13,1
Ca <sup>2+</sup>	mg/l	318	531	2793	7568	2648	529
Cr <sub>og</sub>	mg/l	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,3	< 0,03	< 0,03
Fe <sub>og</sub>	mg/l	23,4	17,4	11,7	22,2	22,3	2,4
K <sup>+</sup>	mg/l	82	123	228	536	276	51
Mg <sup>2+</sup>	mg/l	31	51	265	759	248	50
Mn <sup>2+</sup>	mg/l	1,44	1,24	4,51	11,32	5,99	1,09
Na <sup>+</sup>	mg/l	2118	2164	8871	22596	8425	1685
P <sub>og</sub>	mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
SiO <sub>2(og)</sub>	mg/l	17	24	32	67	34	14

- Szarym kolorem oznaczono przekroczenie najwyższych dopuszczalnych wskaźników zanieczyszczeń dla oczyszczonych ścieków przemysłowych zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska naturalnego [13].

- Oznaczenie próbek:

- Próbka nr 1 – płyn zwrotny oczyszczony po zwierceniu 3 korka (31.08.2011).
- Próbka nr 2 – płyn zwrotny oczyszczony po zwierceniu 6 korka (01.09.2011).
- Próbka nr 3 – flowback po filtrach, 1 dzień po zwierceniu wszystkich korków (08.09.2011).
- Próbka nr 4 – flowback po filtrach, 2 dzień po zwierceniu wszystkich korków (11.09.2011).
- Próbka nr 5 – flowback po filtrach, 5 dzień po zwierceniu wszystkich korków (16.09.2011).
- Próbka nr 6 – woda technologiczna z basenu po zamknięciu otworu przed wywiezieniem na składowisko (26.09.2011).



Rys. 4. Zmiany składu chemicznego płynu szczelinującego w procesie szczelinowania oraz po jego zakończeniu

Fig. 4. Changing the composition of the fluid in the process of hydraulic fracturing

Po zakończeniu procesu szczelinowania hydraulicznego część płynu szczelinującego powraca na powierzchnię (płyn zwrotny). Według różnych źródeł jest to około 15% [2], 20% [14] lub 25% [1] zatłoczonego do górotworu płynu. Bilans wodny procesu szczelinowania hydraulicznego w otworze LE-2H przedstawia tabela 3. Łącznie z odwiertu odebrano 2 780,7 m<sup>3</sup> płynu stanowiącego ok. 15,6% zatłoczonej cieczy[2].

Tab. 3. Bilans wodny procesu szczelinowania hydraulicznego w otworze LE-2H [2]

Tab. 3. Water balance of the hydraulic fracturing in the borehole LE-2H [2]

Rodzaj prac	Ilość wody technologicznej zatłoczonej do otworu [m <sup>3</sup> ]	Ilość powracającej wody technologicznej w czasie procesu [m <sup>3</sup> ]	Ilość płynu zwrotnego ze szczelinowania [m <sup>3</sup> ]
Przygotowanie odwiertu do zabiegu szczelinowania	324,0	324,0	–
Szczelinowanie	17 784,69	–	–
Zwiercanie korków	3 131,5	3 131,5	805,5
Testy gazowe	–	–	1 975,2
<b>Razem</b>	<b>21 240,19</b>	<b>3 455,5</b>	<b>2 780,7</b>

Podczas prac związanych z zabiegiem szczelinowania hydraulicznego w Łebieniu powstały odpady wiertnicze, które według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów [12] zalicza się do grupy 012 podgrupy 01 053 rodzaju 01 05 084. Odpady zostały przekazane firmie posiadającej zezwolenie na prowadzenie odzysku odpadów [2].



## 4. Zagospodarowanie ścieków przemysłowych

Skład ścieków powstających w procesie szczelinowania nie odbiega od składu ścieków surowych powstających przy standardowych wierceniach, które to wartości przedstawiono w tabeli 4

Tab. 4. Średnie wartości zanieczyszczeń powstających w ściekach surowych powstających w standardowych wierceniach

Tab. 4. The mean values of pollution from raw waste water produced in standard drilling

Wskaźnik	Jednostka	Średnie wartości w ściekach surowych
Zawiesiny	mg/l	600–1000
Żelaza ogólne	mg/l	18
Fenole lotne	mg/l	0,1
Ekstrakt eterowy	mg/l	50
BZT <sub>5</sub>	mgO <sub>2</sub> /l	60–400
ChZT <sub>(Cr)</sub>	mgO <sub>2</sub> /l	1000–4500

Wartość wskaźników zasolenia ciekłych odpadów ze szczelinowania mieści się w zakresie stężeń występujących w ściekach przemysłowych pochodzących z odwadniania podziemnych zakładów górniczych (wody kopalniane).

W przypadku opisywanych ścieków uzasadnione jest zastosowanie metody bioindukcji do oceny potencjalnego wpływu na środowisko wodne zanieczyszczeń w nich zawartych [8].

Płyn wracający na powierzchnię może być używany w kolejnym szczelinowaniu. Jednak z uwagi na wzrastające zasolenie stopniowo traci swe właściwości i ostatecznie musi być utylizowany. Najczęściej oczyszczanie płynu technologicznego obejmuje usunięcie zawiesin, gazu, ciekłych węglowodorów, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> oraz dozowanie biocydów [6]. W procesach tych wykorzystuje się metody chemiczne, tj.:

- koagulację,
- flokulację,
- sedymentację,
- filtrację na membranach selektywnych,
- odwróconą osmozę,
- odparowanie,
- krystalizację.

Stosowaną techniką zagospodarowania płynu zwrotnego jest oddzielenie wody od zanieczyszczeń (koncentratu). W tym przypadku kluczowe zastosowanie mają techniki membranowe (także odwrócona osmoza), które stosowane są do oczyszczania i odzysku cennych składników ze ścieków przemysłowych. Również w przypadku płynu technologicznego powstałego podczas procesu szczelinowania, zdaniem autorów, procesy membranowe powinny stać się podstawowym sposobem umożliwiającym powtórne jego zagospodarowanie.

Do innych powszechnie stosowanych metod oczyszczania należą:

- sedymentacja w zbiornikach retencyjnych (lub flotacja),
- filtracja z koagulacją i flokulacją,
- biologiczne oczyszczanie z wykorzystaniem osadu czynnego zaadoptowanego do specyficznych zanieczyszczeń występujących w ściekach przemysłowych.

Na terenie prowadzenia prac wiertniczych, najczęściej przeprowadza się wstępne oczyszczanie płynu zwrotnego w osadnikach i na filtrach [2]. Tak oczyszczony płyn gromadzony jest w zbiornikach retencyjnych wykorzystywanych uprzednio do gromadzenia wody technologicznej (fot. 1).



Fot. 1. Zbiornik na wodę zlokalizowany na terenie wiertni gazu łupkowego na Pomorzu (Braniewo)

Photo 1. The water tank located in shale gas pad in Braniewo (Poland)

Alternatywnym rozwiązaniem dla powtórnego użycia płynu w procesie szczelinowania może być wprowadzanie go do głębokich otworów wiertniczych. Jest to możliwe do zastosowania tylko w przypadku skał nieprzepuszczalnych. Wprowadzenie do wód powierzchniowych lub podziemnych jest bezpieczne dla środowiska tylko po uprzednim oczyszczeniu. Istnieje możliwość oczyszczenia z części zanieczyszczeń biologicznie rozkładalnych w miejskich oczyszczalniach ścieków. Osady ściekowe utylizuje się w wysokotemperaturowych spalarniach [1].

W USA powszechnie stosowana jest metoda zatłaczania płynów do podziemnych zbiorników po wyeksploatowanych, konwencjonalnych złożach węglowodorów lub do zbiorników podziemnych wód solankowych [14]. Jednym z najistotniejszych kryteriów wyboru odpowiednich miejsc zatłaczania jest obecność warstw nieprzepuszczalnych, które zapobiegają przenikaniu zanieczyszczeń do innych warstw wód podziemnych. Biorąc pod uwagę powyższe uwarunkowania należy stwierdzić, że w naszych warunkach metoda zatłaczania będzie miała bardzo ograniczone zastosowanie. W tabeli 5 zestawiono wykorzystywane w USA metody zagospodarowania zużytego płynu szczelinującego w podziale na poszczególne złoża gazu łupkowego.

Tab. 5. Przykłady zagospodarowania płynu pozabiegowego (zużytego płynu szczelinującego)

Tab. 5. Examples of flowback fluid management

Złoże gazu łupkowego	Metoda zagospodarowania zużytego płynu szczelinującego
Barnett Shale	Zatłaczanie do górotworu; recykling
Fayetteville Shale	Zatłaczanie do górotworu; recykling
Haynesville Shale	Zatłaczanie do górotworu
Marcellus Shale	Zatłaczanie do górotworu; oczyszczanie w miejskich oczyszczalniach; recykling
Woodford Shale	Zatłaczanie do górotworu; recykling wprowadzanie po oczyszczeniu do wód powierzchniowych – na podstawie pozwolenia wodnoprawnego
Antrim Shale	Zatłaczanie do górotworu
New Albany Shale	Zatłaczanie do górotworu

W przypadku braku możliwości zatłoczenia pod ziemię, konieczne jest transportowanie ścieków przemysłowych drogą lądową do oczyszczalni ścieków (cysternami lub rurociągami transportowymi), wyposażonych w specjalistyczną aparaturę do usuwania tego typu zanieczyszczeń. Dynamiczny rozwój eksploatacji gazu łupkowego w USA spowodował szerokie plany budowy oczyszczalni przeznaczonych do oczyszczania ścieków pochodzących z procesu szczelinowania. Należy podkreślić, iż technologie stosowane w tych instalacjach są powszechnie wykorzystywane w skali przemysłowej, także w Polsce. Biorąc pod uwagę, że zdecydowana większość zanieczyszczeń organicznych zawartych w ściekach przemysłowych jest rozkładana przez zaadoptowany osad czynny, korzystnym rozwiązaniem jest współczyszczenie ścieków przemysłowych ze ściekami komunalnymi.

## 5. Podsumowanie

Na podstawie przedstawionych w artykule informacji dotyczących szczelinowań przeprowadzonych w USA oraz pierwszych wyników badań przeprowadzonych w Polsce można stwierdzić, że prawidłowo wykonany proces udostępniania i eksploatacji złoża gazu łupkowego nie stanowi istotnego zagrożenia dla środowiska wodnego. Wydobycie gazu prowadzone według stosowanych obecnie technologii zapewnia bezpieczną eksploatację. Ogranicza także potencjalne oddziaływanie na wody powierzchniowe i podziemne.

Proces wydobywania wymaga zużycia znacznych ilości wody technologicznej, nawet 20 000 m<sup>3</sup> na otwór, z tego 15% do 25% w postaci płynu zwrotnego stanowi odpad ciekły (ścieki przemysłowe), który zgodnie z wymogami prawa, wymaga oczyszczenia przed wprowadzeniem do środowiska.

Istnieje możliwość wielokrotnego wykorzystania płynu zwrotnego ze szczelinowania w kolejnych procesach technologicznych (recykling). Technologie oczyszczania płynu szczelinującego stosowane w USA wykorzystywane są także w Polsce. Stosuje się je do oczyszczania ścieków przemysłowych pochodzących, między innymi z odwadniania podziemnych zakładów górniczych, z sektora paliwowo-energetycznego oraz petroche-

micznego. Zanieczyszczenia organiczne, tj. węglowodory ropopochodne, chemikalia dodawane do płynu szczelinującego zawarte w ściekach przemysłowych są rozkładalne przez zaadoptowany osad czynny w procesie biologicznego oczyszczania ścieków.

W związku z planowanym rozwojem prac zmierzających do eksploatacji gazu łupkowego w Polsce, wskazane jest opracowanie wytycznych obejmujących aspekty prawne, środowiskowe i technologiczne.

Wytyczne dotyczące monitoringu środowiska, gospodarki odpadami oraz ściekami, sposobu rekultywacji i sposobu prowadzenia ocen oddziaływania na środowisko zostaną opracowane w ramach projektu realizowanego przez Generalną Dyрекcję Ochrony Środowiska. W ramach tego projektu zostanie przygotowany przegląd wymogów prawno - administracyjnych, które uregulują kwestie związane z poszukiwaniem, rozpoznaniem i wydobywaniem gazu łupkowego, jak również likwidacji i rekultywacji terenów zakładów górniczych prowadzących prace za gazem łupkowym

## Bibliografia

- [1] Albrycht I., Boyfield K., Jankowski J.M., Kaliski M., Kołaczkowski M., Krupa M., Lewis G., Ndhlovu Z., Perry K.F., Poprawa P., Rewald R., Riley A., Ruszel M., Rychlicki S., Siemek J., Sikora A., Smith T., Szlagowski P., Tarnawski M., Zawisza A. (2011), Gaz niekonwencjonalny – szansa dla Polski i Europy, Analiza i rekomendacje, Instytut Kościuszki, Kraków
- [2] Badania aspektów środowiskowych procesu szczelinowania hydraulicznego wykonanego w otworze Łebień LE-2H. Raport końcowy (2011). Warszawa, Państwowy Instytut Geologiczny PIB.
- [3] Chemicals Used In Hydraulic Fracturing. United States House Of Representatives Committee On Energy And Commerce Minority Staff, April 2011.
- [4] Datuk A.R.H. (2010): Shale Gas – A True Energy “Game Changer”. Dallas, World Gas Conference.
- [5] Fisher K. (2010): Data Confirm Safety Of Well Fracturing. The American Oil & Gas Reporter.
- [6] Kasza P. (2011): Zabiegi hydraulicznego szczelinowania w formacjach łupkowych. Nafta-gaz, ROK LXVII.
- [7] Klimkiewicz A., Korczak K. (2012) Technologiczne i środowiskowe aspekty wykorzystania wody w procesie wydobywania gazu łupkowego. Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko nr 3, s. 43–54
- [8] Korczak K., Pankiewicz M., Głodniok M. (2010): Zastosowanie metody bioindykacji do oceny oddziaływania ścieków przemysłowych na środowisko wodne. Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko nr 4, s. 29–37.
- [9] Macuda J., Marchel P. (2011): Oddziaływanie prac wiertniczych na środowisko przy poszukiwaniu gazu łupkowego w Polsce. Wiertnictwo Nafta Gaz t. 28, z. 1–2, str. 263–271, Kraków, Wydaw. AGH.

- [10] Ocena zasobów wydobywalnych gazu ziemnego i ropy naftowej w formacjach łupkowych dolnego paleozoiku w Polsce (basen bałtycko-podlasko-lubelski). Raport pierwszy (2012). Warszawa, Państwowy Instytut Geologiczny PIB.
- [11] Pietraszek W, Dziewota-Jabłońska J. Oczyszczanie wód po szczelinowaniu gazu łupkowego – aspekty technologii wodno-ściekowych. Forum Eksploatatora Nr 5/2012 (62)
- [12] Rozporządzenie (2001): Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów. Dz.U. nr 112, poz. 1206.
- [13] Rozporządzenie (2006): Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska naturalnego. Dz.U. nr 137, poz. 984.
- [14] Środowiskowe aspekty poszukiwań i produkcji gazu ziemnego łupkowego i ropy naftowej łupkowej (2011). Warszawa, Państwowy Instytut Geologiczny PIB.
- [15] Waxman H.A., Markey E.J., DeGette D. (2011): Chemicals Used In Hydraulic Fracturing. United States House Of Representatives Committee On Energy And Commerce Minority Staff.

