

Artur Klimkiewicz\*, Krzysztof Korczak\*

## TECHNOLOGICZNE I ŚRODOWISKOWE ASPEKTY WYKORZYSTYWANIA WODY W PROCESIE WYDOBYCIA GAZU ŁUPKOWEGO

### Streszczenie

W artykule omówiono wykorzystanie wody w procesie wydobywania gazu łupkowego, przedstawiając dane bilansowe oraz zmiany jej parametrów chemicznych, wynikające z przebiegu procesu szczelinowania.

W procesie szczelinowania hydraulicznego, który jest podstawowym etapem rozpoczynającym eksploatację gazu łupkowego, zużywa się znaczne ilości wody. Po jego zakończeniu pozostaje około 15–25% płynnego odpadu, który wymaga unieszkodliwienia. W artykule przeanalizowano stosowane kierunki zagospodarowania ścieków przemysłowych (ciekłych odpadów), z uwzględnieniem polskich uwarunkowań. Autorzy oparli się głównie na informacjach dotyczących szczelinowań przeprowadzonych w USA, jak również na pierwszych krajowych doświadczeniach związanych z udostępnianiem i eksploatacją gazu łupkowego.

Zaawansowana technologia szczelinowania, służąca eksploatacji gazu z głębokich struktur skalnych (ponad 1000 m p.p.t.) ma potencjalny wpływ na środowisko wodne. Niezmiernie istotne jest rozpoznanie zagrożeń oraz identyfikacja elementów środowiska podlegających presji. Ze względu na planowaną skalę udostępnienia zasobów gazu łupkowego w Polsce, ważne jest opracowanie i stosowanie technologii eksploatacji bezpiecznych dla środowiska.

**Słowa kluczowe:** gaz łupkowy, wydobywanie, szczelinowanie hydrauliczne, woda, wykorzystanie, gospodarka ściekowa, ścieki przemysłowe, oddziaływanie, środowisko naturalne, aspekt technologiczny, aspekt środowiskowy.

### Water utilization in terms of technological and environmental processes of shale gas exploitation

#### Abstract

This article discusses the role of water in the shale gas production, presented its 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 national experiences related to the operation of gas and its impact on the environment. Into operation of shale gas is advanced technology, mainly based on the hydraulic fracturing, the application of which results in some degree the impact on the environment. 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.

**Keywords:** shale gas, exploitation, hydraulic fracturing, water, utilization, waste water management, industrial waste water, impact, the environment, technological aspect, environmental aspect.

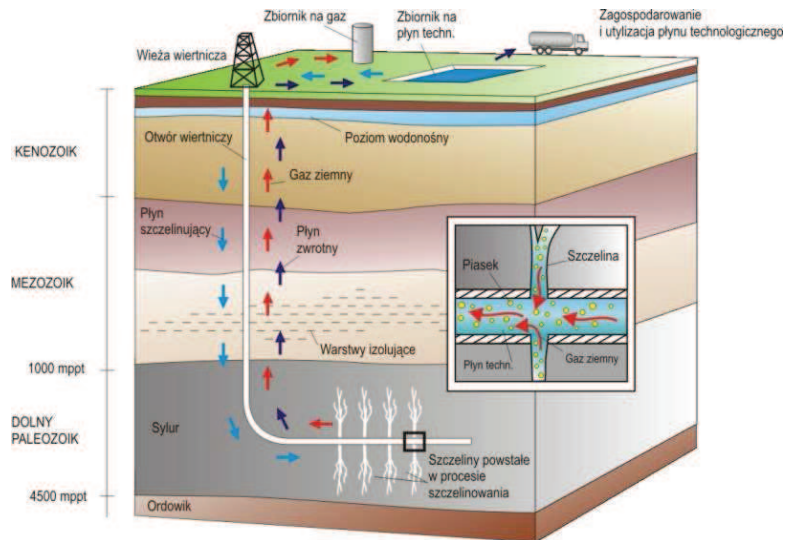
---

\* Główny Instytut Górnictwa

## 1. WPROWADZENIE

**Gaz łupkowy** (z ang. *shale gas*) to metan uwięziony w skałach łupkowych. Pozyskiwanie gazu z takich niekonwencjonalnych złóż jest procesem technologicznie zaawansowanym, gdyż formacje łupkowe charakteryzują się znikomą przepuszczalnością (0,1–0,001 mD). Ma na to wpływ także zaleganie złóż na głębokości nawet do kilku kilometrów 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 wtłaczaniu do górotworu odpowiednio przygotowanego płynu. Powoduje to powstanie w strukturach łupkowych głębokich szczelin, osiągających długość do 30 m (Albrycht i in. 2011; Raport 2010; Modern Shale... 2009). W tak powstałe szczeliny wtłaczany 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 rysunku 1, opracowanym na podstawie grafiki Ala Granberga (Modern Shale... 2009).



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

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

Proces udostępniania złoża gazonośnego z wykorzystaniem omawianej metody polega na wykonywaniu 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 (Modern Shale... 2009).

Po zakończeniu szczelinowania powstają odpady wiertnicze, w tym płyn technologiczny (nadmiar płynu szczelinującego), które muszą zostać zagospodarowane w sposób niezagrażający środowisku oraz zgodnie z wymogami prawa. 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 rozpoczętej w Polsce eksploatacji gazu łupkowego.

Jak wynika z badań przeprowadzonych przez Państwowy Instytut Geologiczny oszacowane łącznie zasoby gazu ziemnego z formacji łupkowych mogą wynosić 1920 mld m<sup>3</sup>. Biorąc pod uwagę parametry oszacowania, zasoby te mieszczą się najprawdopodobniej w przedziale 346–768 mld m<sup>3</sup>. Są to więc zasoby od 2,5 do 5,5-krotnie większe od udokumentowanych do tej pory zasobów ze złóż konwencjonalnych (ok. 145 mld m<sup>3</sup>) (Ocena zasobów... 2012).

Prawdopodobnie kwestia zagospodarowania płynu zwrotnego, stanowiącego odpad ciekły (ścieki przemysłowe), przy szybkim wzroście liczby nowych odwiertów w kraju (obecnie ok. 50 rocznie) 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* (Dz. U. z 2001 r. Nr 112, poz. 1206) muszą one zostać poddane procesowi oczyszczania, w stopniu umożliwiającym ich zaklasyfikowanie do odpadów z grupy o kodzie 19. Umożliwi to ich dalsze oczyszczanie do parametrów wymaganych dla ścieków wprowadzanych do wód powierzchniowych.

## 2. WODA W PROCESIE SZCZELINOWANIA HYDRAULICZNEGO

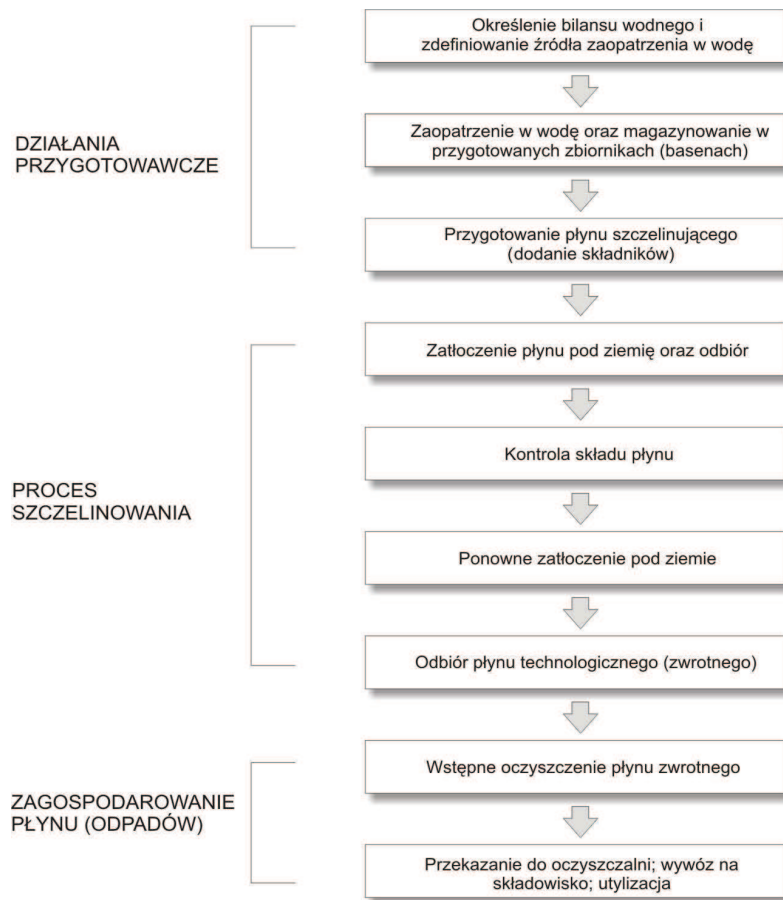
Podczas procesu szczelinowania do jednego otworu, w zależności, m.in. od formacji łupków i ich charakterystyki, wtłacza się średnio od 2 do 4 tys. m<sup>3</sup> wody (Modern Shale... 2009). Według innych źródeł zużycie wody może być znacznie większe, osiągając 20 tys. m<sup>3</sup> (Albrycht i in. 2011). 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 osiagającym 60 MPa (Raport 2010). W jednym otworze wykonuje się zwykle od kilku do kilkunastu szczelinowań (Środowiskowe aspekty... 2011).

W roku 2011 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 dodatkiem 462,09 m<sup>3</sup> substancji chemicznych oraz 1271,88 Mg proppantu (Badania aspektów... 2011).

Proces szczelinowania wymaga każdorazowego zaplanowania szeregu działań, w tym logistycznych, umożliwiających sprawny obieg wody. Przed rozpoczęciem

prac na miejscu wykonywania procesu musi być dostępna jej odpowiednia ilość. Woda przeznaczona do szczelinowania pozyskiwana jest z wierconych studni lub dowożona na teren wiertni, a następnie przechowywana w sztucznych, szczelnych zbiornikach (basenach) o pojemności od 6000 do 12 000 m<sup>3</sup> (Modern Shale... 2009; Macuda, Marchel 2011).

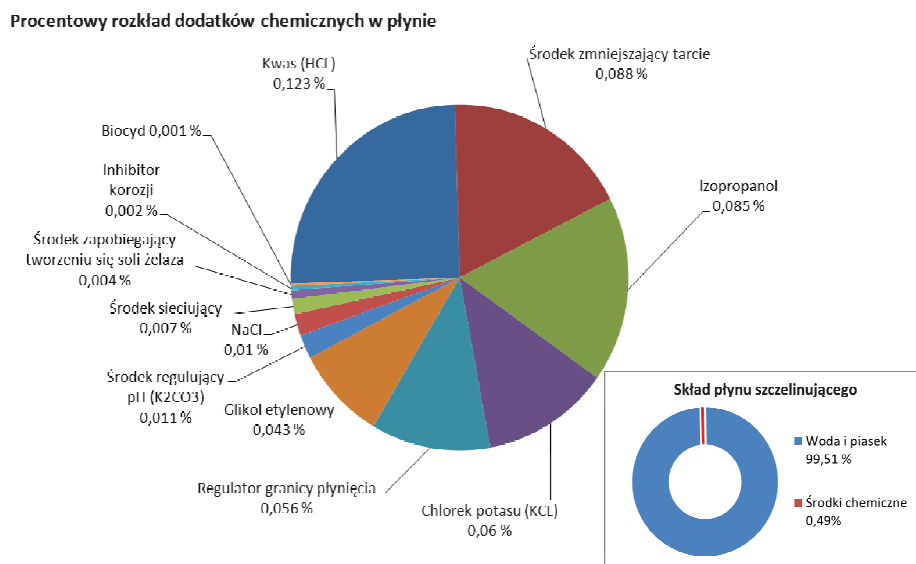
Obieg wody w procesie szczelinowania hydraulicznego przedstawia rysunek 2. Rozpoczęcie oraz proces szczelinowania związane są z szeregiem prac obejmujących, m.in. rozpoznanie warunków geologicznych i hydrogeologicznych górotworu oraz organizacją monitoringu dla wszystkich etapów procesu szczelinowania. Zdefiniowanie potencjalnych dróg migracji płynu technologicznego procesowego, jak również analiza procedur zagospodarowania powstających ścieków przemysłowych, ograniczają ryzyko środowiskowe związane z udostępnianiem i eksploatacją gazu łupkowego.



**Rys. 2.** Obieg wody w procesie szczelinowania hydraulicznego

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

Płyn do szczelinowania hydraulicznego to rodzaj płuczki stosowanej w wiertnictwie. Jego podstawowym zadaniem 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. Dodanie chemikaliów ma na celu zmniejszenie tarcia oraz ochronę przed korozją głowicy wiertniczej. Ponad 99% płynu stanowi mieszanina wody z materiałem podsadzkowym<sup>1</sup>, 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 (Datuk 2010). Przykładowy skład płynu technologicznego przedstawiono na rysunku 3.



**Rys. 3.** Skład płynu szczelinującego (oprac. własne na podstawie Modern Shale... 2009)

**Fig. 3.** Volumetric composition of a fracture fluid (own work based on Modern Shale... 2009)

W latach 2005–2009 w USA zużyto ponad 2500 zestawów chemikaliów służących do sporządzania płynu szczelinującego. W składzie preparatów zidentyfikowano 750 związków chemicznych (Waxman, Markey, DeGette 2011). W tym okresie najpowszechniej stosowaną substancją chemiczną w procesie szczelinowania był metanol, którego obecność stwierdzono w 342 preparatach (produktach handlowych) wykorzystywanych do szczelinowania hydraulicznego (tab. 1).

<sup>1</sup> Do materiałów podsadzkowych zaliczono: piasek, piasek syntetyczny – proppant i płyny polimerowe.

**Tabela 1.** Składniki chemiczne używane do szczelinowania w latach 2005–2009

Składnik chemiczny	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
Hydroorafinowana ropa naftowa	89
Wodorotlenek sodu	80

\* Źródło: Chemicals Used in Hydraulic Fracturing. United States House of Representatives Committee on Energy and Commerce Minority Staff, April 2011.

Stosowane w procesie szczelinowania substancje chemiczne wykorzystuje się powszechnie, m.in. w budownictwie, przemyśle kosmetycznym, spożywczym oraz farmaceutycznym (Datuk 2010), a metody unieszkodliwiania tych substancji stosowane są na skalę przemysłową.

### 3. 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 (Albrycht i in. 2011; Fisher 2010; DiGiulio i in. 2011). 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 (Macuda, Marchel 2011). W ciągu kilku dni po procesie szczelinowania wzrasta zawartość zawiesiny w otworze wiertniczym. Dzięki znacznemu spadkowi natężenia przepływu, zasolenie płynu szczelinującego stabilizuje się (Albrycht i in. 2011). 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 (Albrycht i in. 2011). Poddawane szczelinowaniu łupki bitumiczne zawierają do 25% substancji organicznych, a także związki zawierające siarkę i azot oraz metale ciężkie<sup>2</sup>, niekiedy także pierwiastki promieniotwórcze. Związki te najczęściej nie rozpuszczają się w wodzie w normalnych warunkach ciśnienia i temperatury. Jednak wysokie ciśnienie i temperatura, jakie panują na głębokościach powyżej 3000 m mogą umożliwić częściowe przechodzenie do roztworów niektórych substancji, które po powrocie na powierzchnię wytrącają się w postaci osadów (szlamów).

<sup>2</sup> W tym: rtęć, kadm, cynk, ołów, miedź, arsen, nikiel, chrom, kobalt, wanad.



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 (Badania aspektów... 2011).

**Tabela 2.** Zestawienie wybranych parametrów wody technologicznej w otworze Łebień LE-2H (Badania aspektów... 2011)

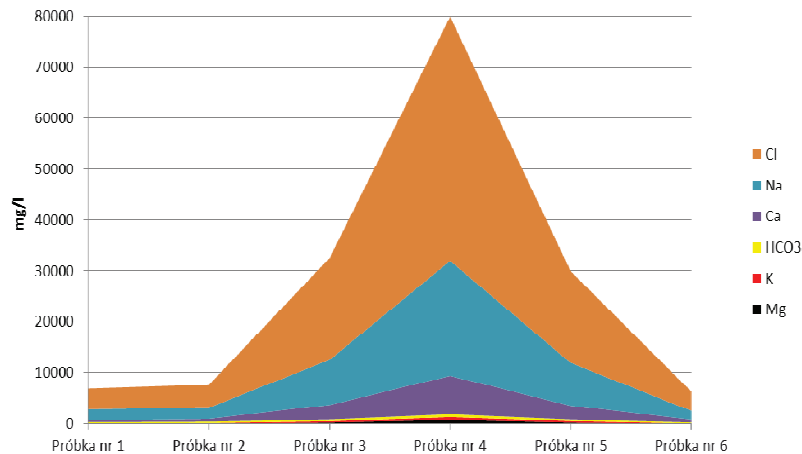
Parametr	Jednostka	Próbka nr 1	Próbka nr 2	Próbka nr 3	Próbka nr 4	Próbka nr 5	Próbka nr 6
Odczyn	pH	6,35	5,8	6,63	6,72	6,01	7,47
Przewodność	mS/cm	12,14	13,76	53,1	123,4	49,6	11,93
Zasadowość	mg CaCO <sub>3</sub> /l	173	199	293	417	260	136
OWO	mg/l	82	34	67	129	74	11
Indeks fenolowy	mg/l	8	8	15	20	15	< 2
Cyjanki	mg/l	< 0,2	< 0,2	< 0,5	< 1,0	< 0,5	< 0,2
Substancje powierzchniowo 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	20 000	48 000	18 000	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	22 596	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 (Dz. U. z 2006 r. Nr 137, poz. 984).

\*\* Oznaczenie próbek: próbka nr 1 – płyn zwrotny oczyszczony po zwierceniu trzeciego korka (31.08.2011 r.); próbka nr 2 – płyn zwrotny oczyszczony po zwierceniu szóstego korka (1.09.2011 r.); próbka nr 3 – flowback po filtrach, pierwszy dzień po zwierceniu wszystkich korków (8.09.2011 r.); próbka nr 4 – flowback po filtrach, drugi dzień po zwierceniu wszystkich korków (11.09.2011 r.); próbka nr 5 – flowback po filtrach, piąty dzień po zwierceniu wszystkich korków (16.09.2011 r.); próbka nr 6 – woda technologiczna z basenu po zamknięciu otworu przed wywiezieniem na składowisko (26.09.2011 r.).

Na podstawie wyników badań środowiskowych procesu szczelinowania hydraulicznego wykonanego w otworze Łebień LE-2H, na rysunku 4 przedstawiono zmiany wybranych parametrów płynu szczelinującego, na poszczególnych etapach procesu szczelinowania (opis próbek, taki jak w tab. 2). W trakcie procesu następuje wzrost stężenia poszczególnych wskaźników zanieczyszczenia. Po powtórnym zatłoczeniu i odbiorze płynu technologicznego, na etapie zamknięcia otworu, płyn technologiczny

poddawany jest oczyszczaniu, a wielkość stężenia zanieczyszczeń jest zbliżona do stanu zanotowanego na początku procesu szczelinowania.



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

Fig. 4. Changing the chemical composition of fracture fluid in the fracturing process and after it

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* (Dz. U. z 2001 r. Nr 112, poz. 1206) zalicza się do grupy 012 podgrupy 01 053 rodzaju 01 05 084. Odpady zostały przekazane firmie posiadającej zezwolenie na prowadzenie odzysku odpadów (Badania aspektów... 2011).

Podkreślić należy, że skład ciekłych odpadów, powstających w procesie szczelinowania, nie odbiega od składu odpadów powstających przy standardowych wierceniach. Dla porównania w tabeli 3 zestawiono średnie wartości stężenia zanieczyszczeń powstających w ściekach wiertniczych.

Tabela 3. Średnie wartości stężenia zanieczyszczeń powstających w ściekach wiertniczych (Bartkiewicz 2007)

Wskaźnik	Jednostka	Średnie wartości w ściekach surowych	Średni procentowy stopień redukcji w ściekach po oczyszczeniu
Zawiesiny	mg/l	600–1000	70–90
Żelaza ogólne	mg/l	18	60–80
Fenole lotne	mg/l	0,1	30–50
Ekstrakt eterowy	mg/l	50	50–60
BZT <sub>5</sub>	mgO <sub>2</sub> /l	60–400	40–60
ChZT <sub>(Cr)</sub>	mgO <sub>2</sub> /l	1000–4500	40–60

Wartość wskaźników zasolenia ciekłych odpadów ze szczelinowania mieści się w zakresie stężeń występujących w ściekach przemysłowych pochodzących z odwadniania podziemnych zakładów górniczych (wody kopalniane), a zawartość zanieczyszczeń organicznych jest niższa niż w ściekach z sektora paliwowo-energetycz-



nego lub petrochemicznego (Bartkiewicz 2007). W przypadku ścieków przemysłowych (odpady ze szczelinowania) uzasadnione jest zastosowanie metody bioindykacji do oceny potencjalnego wpływu na środowisko wodne zanieczyszczeń w nich zawartych (Korcza, Pankiewicz, Głodniok 2010).

#### 4. ZAGOSPODAROWANIE ŚCIEKÓW

Po zakończeniu procesu szczelinowania hydraulicznego część płynu szczelinującego powraca na powierzchnię (płyn zwrotny). Według różnych źródeł jest to około 15% (Badania aspektów... 2011), 20% (Środowiskowe aspekty... 2011) lub 25% (Albrycht i in. 2011) płynu zatłoczonego do górotworu. Bilans wodny procesu szczelinowania hydraulicznego w otworze LE-2H przedstawia tabela 4. Łącznie z odwiertu odebrano 2780,7 m<sup>3</sup> płynu<sup>3</sup> (Badania aspektów... 2011).

**Tabela 4.** Bilans wodny procesu szczelinowania hydraulicznego w otworze LE-2H (Badania aspektów... 2011)

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	3131,5	3131,5	805,5
Testy gazowe	–	–	1975,2
Razem	21 240,19	3455,5	2780,7

Płyn wracający na powierzchnię jest zazwyczaj 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 (Kasza 2011). 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 auto-

<sup>3</sup> Około 15,6% ilości zatłoczonej cieczy.

rów, procesy membranowe powinny stać się podstawowym sposobem umożliwiającym powtórne jego zagospodarowanie.

Do innych powszechnie stosowanych metod oczyszczania należą (Bartkiewicz 2007):

- 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 (Badania aspektów... 2011). Tak oczyszczony płyn gromadzony jest w zbiornikach retencyjnych wykorzystywanych uprzednio do gromadzenia wody technologicznej (fot. 1).



**Fot. 1.** Zbiornik na wodę zlokalizowany na terenie Marcellus Shale, USA (Modern Shale... 2009)

**Photo 1.** The water tank is located in Marcellus Shale, USA (Modern Shale... 2009)

Alternatywnym rozwiązaniem dla powtórnego użycia płynu w procesie szczelnienia może być utylizacja przez wprowadzanie do głębokich otworów wiertniczych klasy B<sup>4</sup>. 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 (Albrycht i in. 2011).

W USA powszechnie stosowana jest metoda zatłaczania płynów do podziemnych zbiorników po wyeksploatowanych, konwencjonalnych złożach węglowodorów lub do zbiorników podziemnych wód solankowych (Środowiskowe aspekty... 2011). 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, nale-

<sup>4</sup> Jest to możliwe do zastosowania tylko w przypadku skał nieprzepuszczalnych.

ży 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.

**Tabela 5.** Przykłady zagospodarowania wody technologicznej w procesie szczelinowania

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

Zródło: Modern Shale Gas Development in the United States: A Primer, U.S. Department of Energy & Office of Fossil Energy & National Energy Technology Laboratory, 04/2009.

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 (Modern Shale... 2009). 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

Przedstawione w niniejszym artykule informacje oparte na danych dotyczących szczelinowań przeprowadzonych w USA wskazują, 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 wydobycia 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 wykorzystywania 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 m.in. z odwadniania podziemnych zakładów górniczych, z sektora paliwowo-energetycznego oraz

petrochemicznego. 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 dynamicznym rozwojem prac zmierzających do eksploatacji gazu łupkowego w Polsce, wskazane jest opracowanie wytycznych obejmujących aspekty prawne, środowiskowe i technologiczne, które będą miały zastosowanie w warunkach polskich.

### Literatura

1. Albrycht I. (2011): Gaz niekonwencjonalny – szansa dla Polski i Europy? Analiza i rekomendacje. Kraków, Instytut Kościuszki.
2. Badania aspektów środowiskowych procesu szczelinowania hydraulicznego wykonanego w otworze Łebień LE-2H. Raport końcowy. Warszawa, PIG PIB 2011.
3. Bartkiewicz B. (2007): Oczyszczanie ścieków przemysłowych. Warszawa, Wydaw. Naukowe PWN.
4. Chemicals Used in Hydraulic Fracturing. United States House of Representatives Committee on Energy and Commerce Minority Staff, April 2011.
5. Datuk A.R.H. (2010): Shale Gas – A True Energy “Game Changer”. Dallas, World Gas Conference.
6. DiGiulio D.C., Wilkin R.T., Miller C., Oberley G. (2011): Investigation of Ground Contamination near Pavillion, Wyoming. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development National Risk Management Research Laboratory, Ada, Oklahoma.
7. Fisher K. (2010): Data Confirm Safety of Well Fracturing. The American Oil & Gas Reporter.
8. Kasza P. (2011): Zabiegi hydraulicznego szczelinowania w formacjach łupkowych. Nafta-Gaz, R. LXVII, nr 12.
9. 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.
10. Macuda J., Marchel P. (2011): Oddziaływanie prac wiertniczych na środowisko przy poszukiwaniu gazu łupkowego w Polsce. Wiertnictwo Nafta Gaz t. 28, z. 1–2, s. 263–271.
11. Modern Shale Gas Development in the United States: A Primer. U.S. Department of Energy & Office of Fossil Energy & National Energy Technology Laboratory, 04/2009.
12. Ocena zasobów wydobywalnych gazu ziemnego i ropy naftowej w formacjach łupkowych dolnego paleozoiku w Polsce (basen bałtycko-podlasko-lubelski). Raport pierwszy. Warszawa, Państwowy Instytut Geologiczny PIB 2012.
13. Raport (2010): Gaz łupkowy. Podstawowe informacje. Warszawa, PKN ORLEN SA.
14. Rozporządzenie (2001): Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów. Dz. U. Nr 112, poz. 1206.
15. 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.
16. Środowiskowe aspekty poszukiwań i produkcji gazu ziemnego łupkowego i ropy naftowej łupkowej. Warszawa, PIG PIB 2011.
17. 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.