



## Środowiskowe aspekty wydobycia ropy niekonwencjonalnej

*Barbara Uliasz-Misiak*  
*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza*

### 1. Wstęp

Akumulacje ropy naftowej mogą występować w postaci złóż konwencjonalnych (ograniczonych do pułapek) lub niekonwencjonalnych o szerokim rozprzestrzenieniu. Występują one w słabo przepuszczalnych skałach, które w wielu przypadkach są równocześnie skałą macierzystą i zbiornikową (Schmoker 1995, Law & Curtis 2002).

Do niekonwencjonalnych złóż ropy naftowej zalicza się złoża: ciężkiej ropy (*heavy oil*), piasków bitumicznych (*tar sand*), łupków bitumicznych (*oil shale*), ropy naftowej zamkniętej (*tight oil*) i złoża bardzo głębokie (*ultra deep oil*). Ze względu na właściwości petrofizyczne skał i właściwości fizyko-chemiczne ropy nie może być ona produkowana przy zastosowaniu tradycyjnej technologii (Gordon 2012).

Złoża ropy niekonwencjonalnej występują w wielu miejscach na świecie. Ich zasoby stanowią 2/3 światowych zasobów ropy naftowej. W miarę rozwoju technologii eksploatacji, ropa ze złóż niekonwencjonalnych może być konkurencyjna dla ropy ze złóż konwencjonalnych. W ostatnich latach obserwuje się wzrost zainteresowania tymi złożami wyrażający się poprzez prace mające na celu dokładniejsze rozpoznawanie tych złóż i opracowanie nowych technologii wydobycia (Aguilera & Radetzki 2015). Czynniki mogące ograniczać wzrost wydobycia ropy naftowej z niekonwencjonalnych złóż to oprócz techniki i technologii wydobycia, regulacje prawne i ekonomiczne, a przede wszystkim aspekty środowiskowe.

## **2. Metody eksploatacji i zasoby ropy zamkniętej i ropy ciężkiej**

Technologie stosowane do eksploatacji niekonwencjonalnych złóż ropy, ze względu na właściwości skał, w których ropa jest zakumulowana są bardziej skomplikowane, niż w przypadku złóż konwencjonalnych. Do eksploatacji ropy niekonwencjonalnej stosowane są różne techniki: górnicze (podziemne, odkrywkowe i otworowe) oraz zaawansowane metody eksploatacji ropy naftowej. Spośród zaawansowanych metod eksploatacji wykorzystywane są metody termiczne (np. zatłaczanie pary wodnej, spalanie wewnątrzpokładowe), chemiczne oraz chemiczno-termiczne (np. zatłaczanie dwutlenku węgla lub rozpuszczalników) (<http://www.usaee.org/usaee2009/submissions/presentations/Eulderink.pdf>).

Złoża ropy zamkniętej są to nagromadzenia ropy w skałach osadowych (łupkowych, piaskowcach, wapieniach, dolomitach) o niskiej przepuszczalności i porowatości. W celu wydobycia tej ropy konieczne jest wytworzenie sztucznych szczelin. Światowe zasoby wydobywalne ropy z łupków, na poziomie 54,8 mld m<sup>3</sup>, oszacowano dla 41 państw. Największe zasoby wydobywane zlokalizowane są na obszarze Rosji 11,9 mld m<sup>3</sup>, USA ma zasoby drugie co do wielkości rzędu 9,2 mld m<sup>3</sup> ropy. Ropę zamkniętą eksploatują trzy kraje: USA, Kanada i Brazylia (EIA 2013, <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=19991>).

Złoża ciężkiej ropy zawierają ropę naftową o dużej gęstości (933-999 kg/m<sup>3</sup>) i o wysokiej lepkości (powyżej 0,1 Pa·s). Ropa ta zawiera parafiny i asfalteny (do 50%), siarkę oraz metale ciężkie takie jak: wanad i nikiel. Ze względu na właściwości fizykochemiczne ciężka ropa ma mniejszą mobilność w stosunku do konwencjonalnej ropy naftowej. Dlatego do jej eksploatacji stosuje się metody zmniejszające jej lepkość: metody termiczne (m.in. zatłaczanie pary wodnej, spalanie w złożu) lub chemiczne (m.in. wtłaczanie gazowych rozpuszczalników). Złoża ropy ciężkiej zawierają około 45% zasobów ropy na świecie. Całkowite rozpoznane zasoby tej ropy wynoszą około 477-636 mld m<sup>3</sup>, zasoby wydobywalne 68,4 mld m<sup>3</sup> ropy. Większość zasobów ciężkiej ropy zlokalizowanych jest w Ameryce Południowej 42,3 mld m<sup>3</sup>, na Bliskim Wschodzie 12,4 mld m<sup>3</sup> i w Ameryce Północnej – 5,6 mld m<sup>3</sup> (Meyer i in. 2007, Smichtt 2005).

### **3. Wpływ wydobycia ropy zamkniętej i ropy ciężkiej na środowisko**

Metody eksploatacji ropy niekonwencjonalnej w różnym stopniu mogą wpływać na środowisko. Ich wpływ na środowisko wynika z następujących powodów: dużego zapotrzebowania na wodę, zajęcia znacznego obszaru pod wiertnię i urządzenia eksploatacyjne, emisji do atmosfery zanieczyszczeń oraz hałasu, zanieczyszczenia wód i gleb, trzęsień Ziemi wywołanych przez hydrauliczne szczelinowanie lub zatłaczanie płynu po szczelinowaniu i wpływu na różnorodność biologiczną.

#### **3.1. Wpływ eksploatacji ropy zamkniętej na środowisko**

Ropa zamknięta jest zgromadzona w piaskowcach, łupkach i wapieniach o małej porowatości i niskiej przepuszczalności. Do jej wydobycia konieczne jest stosowanie odwiertów o długim odcinku poziomym, w których wykonano zabiegi hydraulicznego szczelinowania (utworzenie szczelin umożliwiających przepływ ropy).

Eksploatacja ropy zamkniętej może stanowić zagrożenie dla: powierzchni terenu, wód podziemnych i powierzchniowych oraz atmosfery. Zagrożenia te wynikają z dużej liczby odwiertów, jaka jest stosowana do eksploatacji tej ropy oraz z konieczności stosowania wieloetapowych zabiegów hydraulicznego szczelinowania (Altmann i in. 2011).

#### **Zapotrzebowanie na wodę**

Duże zapotrzebowanie na wodę przy udostępnianiu (przygotowaniu do wydobycia) złóż ropy zamkniętej wiąże się z koniecznością wykonywania wieloetapowego hydraulicznego szczelinowania odwiertów. Na wiercenie pionowego, głębokiego otworu zużywa się około 30 m<sup>3</sup> wody na dobę (zwykle wiercenie trwa kilka tygodni). Ponadto, na metr bieżący wierconego otworu zużywa się 180-220 litrów płuczki. Dużo większe ilości wody (kilkanaście tysięcy m<sup>3</sup>) zużywane są do hydraulicznego szczelinowania. Do tych zabiegów w odwiertach udostępniających ropę w łupkach w basenach Eagle Ford i Frontier/Niobara zużywa się rzędu 12 500-23 000 m<sup>3</sup> wody na odwiert. Większość wody (ponad 90%) wykorzystywana jest do sporządzania płynów szczelinujących (Matthew & Mantell 2011, Woźnicka & Koniecznyńska 2014). Ponadto, zabieg hydraulicznego szczelinowania wymaga pozyskania znacznych ilości wody w krótkim przedziale czasu, co wiąże się ze znacznym poborem wód

w krótkim czasie. Część wody (około 5-30%) wraca na powierzchnię jako płyn pozabiegowy. W basenie Eagle Ford na 1000 m<sup>3</sup> płynnych węglowodorów wydobywane jest 0,17-0,84 m<sup>3</sup> wody (Matthew & Mantell 2011). Poważny problem stanowi zagospodarowanie znacznych ilości płynu zwrotnego, który po oczyszczeniu może być zrzucany do cieków powierzchniowych lub zatłaczany do górotworu.

### **Użytkowanie terenu**

Powierzchnia obszaru zajmowanego przy prowadzeniu wierceń, przy poszukiwaniu złóż węglowodorów w łupkach, wynosi zwykle od 0,5 do 4 ha (Altmann i in. 2011). W pojedynczej lokalizacji jest wiercone kilkanaście otworów, w siatce co kilka metrów. Teren, na którym znajdują się: odwierty, zbiorniki na płyny technologiczne, infrastruktura drogowa jest czasowo wyłączony z użytkowania. Do prowadzenia eksploatacji niezbędna jest mniejsza powierzchnia, niż w przypadku prac wiertniczych. Obszar ograniczony jest do otoczenia głowic otworów eksploatacyjnych, gdzie znajdują się zbiorniki na płyny złożowe oraz infrastruktura transportowa. Pozostały teren może zostać przywrócony do poprzedniego sposobu użytkowania.

### **Emisja do atmosfery**

W trakcie wiercenia, udostępniania i eksploatacji ropy z łupków do atmosfery emitowany jest hałas związany głównie z pracą agregatów prądotwórczych, silników napędowych urządzenia wiertniczego, pomp płuczkowych, sit wibracyjnych oraz z transportem.

Pyły i gazy mogą być emitowane do atmosfery z agregatów prądotwórczych, silników i pomp tłoczących, z wiertni, urządzeń eksploatacyjnych, przesyłowych. Transport kołowy jest źródłem emisji zanieczyszczeń pyłowych i gazowych, w tym lotnych związków organicznych. Emisja szkodliwych substancji może również pochodzić z odparowywania płynów technologicznych (w tym płynu po szczelinowaniu).

Do najważniejszych zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery przy eksploatacji ropy zamkniętej zaliczamy: metan, organiczne związki lotne, NO<sub>x</sub>, dwutlenek siarki i inne zanieczyszczenia (Altmann i in. 2011).

### **Oddziaływanie na wody podziemne i powierzchniowe oraz gleby**

Wody, zarówno podziemne jak i powierzchniowe, mogą być zanieczyszczane substancjami chemicznymi pochodzącymi z zabiegu hydraulicznego szczelinowania lub z wód złożowych.

Płyn szczelinujący sporządzany jest na bazie wody (ok. 99,5%), do której są dodawane dodatki chemiczne, mające za zadanie zoptymalizowanie procesu szczelinowania oraz substancje bakteriobójcze, zapobiegające korozji oraz żelujące (Matthew & Mantell 2011). Drugim źródłem zanieczyszczeń wód mogą być wody złożowe wydobywane na powierzchnię, które mogą zawierać składniki szkodliwe, np. metale ciężkie (rtęć lub arsen) lub radioaktywne.

Zanieczyszczenia mogą dostać się do wód oraz gleb i gruntów w wyniku wypadków drogowych, awarii rurociągów, uszkodzenia zbiorników, kompresorów i innych urządzeń. Szczególnie groźne mogą być niekontrolowane wycieki płynu szczelinującego lub płynu po szczelinowaniu przez uszkodzenia w kamieniu cementowym lub orurowaniu, lub szczeliny sztuczne lub naturalne. Zanieczyszczenie wód możliwe jest na skutek migracji płynu szczelinującego lub płynu po zabiegu szczelinowania w strefę przyotworową lub infiltracja z powierzchni terenu i spływ powierzchniowy płynu magazynowanego w zbiornikach.

Prace wiertnicze i eksploatacyjne mogą doprowadzić do degradacji warstwy gleby oraz kompaktacji warstw podglebia pod wpływem długotrwałego obciążenia. Awaryjne wycieki płynów technologicznych, paliw oraz olejów i smarów mogą doprowadzić do zanieczyszczenia gleb.

### **3.2. Wpływ eksploatacji ciężkiej ropy na środowisko**

Ciężka ropa ze względu na swoją dużą gęstość i lepkość jest eksploatowana przy użyciu zaawansowanych metod wydobycia, głównie chemicznych i termicznych, rzadziej jest stosowane zatłaczanie gazów. Metody te mają duży i zróżnicowany wpływ na środowisko. Wspólną cechą tych metod jest duże zapotrzebowanie na wodę i negatywne oddziaływanie na atmosferę i wody.

#### **Zapotrzebowanie na wodę**

Przy stosowaniu zaawansowanych metod wydobycia ropy zużywa się znacznie większe ilości wody niż przy wydobyciu metodami pierwszymi i wtórnymi. Również wymagania, co do jakości stosowanej wody są większe niż w przypadku wody używanej do nawadniania złóż (metody wtórne) (Veil & Quinn 2008).

Przy zatłaczaniu pary wodnej i gorącej wody, woda wykorzystywana jest do sporządzania pary i gorącej wody, hydraulicznego szczelinowania oraz chłodzenia urządzeń. Przy zatłaczaniu pary i gorącej wody,

w zależności od metody zużywa się około 1-6 m<sup>3</sup> wody na 1 m<sup>3</sup> wydobytej ropy (Gleick 1994, Veil & Quinn 2008). Przy spalaniu ropy *in-situ* zużywana jest mniejsza ilość wody około 0,5 m<sup>3</sup> na 1 m<sup>3</sup> ropy. Metody chemiczne (zatłaczanie polimerów lub innych substancji) zużywają bardzo zróżnicowane ilości wody od 3,9 do 340 m<sup>3</sup> wody na 1 m<sup>3</sup> wydobytej ropy (Abu El Ela 2012, Gleick 1994).

### **Użytkowanie terenu**

W przypadku poszukiwań i eksploatacji złóż ropy ciężkiej obszar zajęty przez odpowiednią infrastrukturę jest niewielki, podobny jak w przypadku złóż konwencjonalnych. Dodatkowe urządzenia do zastosowania metod zaawansowanych są stosunkowo małe, nawet w przypadku dużych inwestycji. W niektórych przypadkach dostarczanie dużych ilości substancji do zatłaczania wymaga zbudowania nowego rurociągu. Niekiedy może być konieczność wykonania dodatkowych otworów lub rekonstrukcja starych. Jednak nie powoduje to wyłączenia z użytkowania dużych obszarów (OTA 1978).

### **Emisja do atmosfery**

Wielkość emisji zanieczyszczeń pyłowych i gazowych do atmosfery jest zależna od rodzaju stosowanych metod. Metody chemiczne i zatłaczania gazów, mogą powodować zanieczyszczenie powietrza. Podczas gdy metody termalne zawsze wiążą się z emisją zanieczyszczeń do atmosfery.

Para lub gorąca woda zatłaczana do złoża ciężkiej ropy jest przygotowywana na złożu w generatorach, w których spalana jest najczęściej ropa. W wyniku spalania emitowany jest dwutlenek siarki, tlenki azotu, węglowodory, tlenek węgla, dwutlenek węgla, i inne produkty spalania. Ze spalania *in-situ* emitowane są te same zanieczyszczenia, jak z generatorów. Ponadto może być emitowany siarkowodór, który może ulatniać się ze sprężarek oraz inne zanieczyszczenia, które zależą od składu skał, właściwości fizyko-chemicznych ropy i sposobu spalania (OTA 1978).

Przy eksploatacji ropy ciężkiej emisja hałasu do atmosfery związana z działaniem kompresorów i innych urządzeń może być uciążliwa i długotrwała. Duża, ale krótkotrwała uciążliwość wiąże się z zabiegami szczelinowania lub zatłaczaniem pary (OTA 1978).

### **Oddziaływanie na wody podziemne i powierzchniowe**

Przy eksploatacji ropy ciężkiej wydobywa się duże ilości wody zawierającej związki organiczne i nieorganiczne, której skład chemiczny zależy od metody wydobycia. Wody te zawierają sole kwasów nieorganicznych (chlorki), węglowodory aromatyczne, organiczne związki polarne (fenol) oraz kwasy organiczne (kwasy naftenowe). Niektóre wody, zwłaszcza wydobywane przy zastosowaniu metod termicznych mogą zawierać duże ilości siarki. Ponadto, w wodach mogą występować: zdyspergowana ropa, cząstki stałe (piasek, produkty korozji, cząsteczki łu), rozpuszczone gazy, bakterie i substancje chemiczne stosowane przy wydobyciu ropy (Dusseault & Bilak 1998, Neff & Hagemann 2007). Ze względu na skład oraz ilości wody te mogą powodować poważne zagrożenie dla wód podziemnych, powierzchniowych i gleb. Do zanieczyszczenia wód wgłębnych może dojść w wyniku nieuszczelnności kamienia cementowego lub orurowania odwiertu albo wystąpienia awarii urządzeń. Wody gruntowe i powierzchniowe mogą zostać zanieczyszczone w wyniku wycieku ze zbiorników magazynowych lub podczas transportu.

Wody, zwłaszcza podziemne, mogą zostać zanieczyszczone również w wyniku dostania się do nich substancji chemicznych zawierających metale ciężkie zatłaczanych w metodach chemicznych do złóż ropy ciężkiej (Dusseault & Bilak 1998; Neff & Hagemann 2007).

Procesy cieplne zachodzące w złożu ropy ciężkiej przy stosowaniu metod termalnych powodują zmiany w skale zbiornikowej, mogą również oddziaływać na utwory zalegające w nadkładzie złoża, w tym poziomy wodonośne. Procesy termalne mogą wywoływać zmiany w składzie chemicznym wód oraz w hydrodynamice poziomów wodonośnych. Zmiany chemizmu wody będą spowodowane rozpuszczaniem niektórych minerałów w związku ze wzrostem temperatury. Wody mogą zostać wzbogacone np. w arsen, co zaobserwowano w złożach kanadyjskich. Migracja gazów ze złoża do poziomu wodonośnego może zmienić odczyn wody, jej skład chemiczny lub mineralizację. Zmiany w warunkach hydrodynamicznych w poziomie wodonośnym (powstanie kontaktu hydrodynamicznego między złożem a poziomem wodonośnym) może być efektem szczelinowania, zmian ciśnienia porowego lub dopływem ciepła (Rivera 2014).

#### **4. Potencjalne zagrożenia środowiskowe związane z eksploatacją złóż rop zamkniętej i ciężkiej w Polsce**

Złóża niekonwencjonalnej ropy nie były w Polsce celem poszukiwań. Dotychczas odkryto tylko jedno złożo ropy ciężkiej – Lubaczów zlokalizowane we wschodniej części zapadliska przedkarpackiego. Akumulację ciężkiej ropy odkryto w 1960 roku, próby eksploatacji metodami pierwszymi nie powiodły się i ze względu na niewielki wydatek zaprzestano eksploatacji złoża (Karnkowski 1993).

Na terenie Polski istnieje możliwość znalezienia złóż ropy w łupkach w dolnopaleozoicznych skałach łupkowych basenu bałtycko-podlasko-lubelskiego oraz rejonu Gór Świętokrzyskich (łupkach graptolitowych). Nagromadzenia ropy zamkniętej mogą występować również w Karpatach zewnętrznych (piaskowcach dolnej i górnej kredy-paleocenu oraz łupkach menilitowych) (PIG-PIB 2012, <http://www.pgi.gov.pl/pl/projekty-pig-vrt/198/3538-rekonstrukcja-systemow-naftowych-karpat-zewnetrznych>).

Stopień rozpoznania zasobów ropy niekonwencjonalnej jest niewielki. Zasoby wydobywalne ropy z łupków zostały oszacowane dla basenu bałtycko-podlasko-lubelskiego (łącznie z szelfem) i wynoszą 215-268 mln ton (maksymalnie 535 mln ton) (PIG-PIB 2012).

Skala zagrożeń dla środowiska w Polsce związanych z eksploatacją niekonwencjonalnych złóż ropy wynika ze specyfiki metod poszukiwań i eksploatacji tych złóż oraz uwarunkowań krajowych (duża gęstość zaludnienia, duża powierzchnia obszarów chronionych i ograniczone zasoby wód).

Przeanalizowano wpływ wybranych zabiegów technologicznych i różnych metod eksploatacji ropy ciężkiej i zamkniętej na poszczególne elementy środowiska (tab. 1). Przyjęto skalę oddziaływań na poszczególne elementy środowiska od 1 do 4 (brak oddziaływań – 1, słaby wpływ – 2, średni wpływ – 3, bardzo duży wpływ – 4).

Zagrożenia dla atmosfery to emisja zanieczyszczeń gazowych i pyłowych. Niewielka emisja nie powodująca przekroczeń poziomów celów długoterminowych zanieczyszczeń będzie odpowiadała wartości 1, przekroczenie poziomów docelowych zanieczyszczeń – 2, przekroczenia dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń - 3, przekroczenie poziomów alarmowych zanieczyszczeń - 4. Największe zagrożenie dla stanu atmosfery stanowią metody termiczne i termiczno-chemiczne, ze względu na dużą emisję związaną z przygotowywaniem pary wodnej i gorącej wody.



Negatywny wpływ na wody podziemne i powierzchniowe będzie wiązał się z ich nadmiernym poborem oraz możliwością zanieczyszczenia. Pobór wód przy poszukiwaniu i eksploatacji złóż ropy niekonwencjonalnej może być poniżej zasobów dyspozycyjnych dla danego obszaru i nie będzie powodował negatywnego wpływu na wielkość zasobów (wartość 1). W przypadku poboru wód w ilościach przekraczających zasoby dyspozycyjne, w zależności od ilości pobieranej wody przyjęto wartość od 2 do 4. Duże zapotrzebowanie na wodę wiąże się z zabiegami hydraulicznego szczelinowania oraz z eksploatacją ropy ciężkiej. Ponieważ potencjalne strefy występowania złóż ropy niekonwencjonalnej w Polsce to obszary o niewielkich zasobach wód, zwłaszcza podziemnych, to wymienione wyżej technologie mogą stanowić poważne zagrożenie dla zasobów wód. Termiczne i chemiczne metody eksploatacji ropy ciężkiej są potencjalnie największym zagrożeniem dla jakości wód, przyjęto dla nich wartości od 2 do 4. Przy stosowaniu pozostałych technologii zanieczyszczenie wód może być spowodowane właściwie tylko w przypadku sytuacji awaryjnych, przyjęto dla nich wartość 1.

Przeanalizowano również wielkość terenu zajmowanego przy poszukiwaniu i eksploatacji złóż ropy niekonwencjonalnej, za punkt odniesienia przyjęto obszar zajmowany podczas prac poszukiwawczych i wydobywaniu ropy konwencjonalnej. Wartość 1 odpowiada obszarowi analogicznemu jak przy złożach konwencjonalnych, pozostałe (2-4) wartości przyjęto w zależności od tego o ile większy jest zajęty teren.

**Tabela. 1.** Wpływ metod poszukiwania i eksploatacji złóż ropy zamkniętej i ciężkiej na elementy środowiska naturalnego

**Table 1.** Impact of methods exploration and production heavy oil and tight oil on environment components

Wyszczególnienie	Powietrze	Zapotrzebowanie na wodę	Wody	Gleby	Teren
Ropa zamknięta					
Hydrauliczne szczelinowanie	1	4	2	2	3
Eksploatacja	1	1	1	1	2
Ropa ciężka					
Metody termiczne	4	3	4	1	1
Metody chemiczne	2	3	2	1	1
Metody chemiczno-termiczne	3	3	4	1	1

## 5. Podsumowanie

Obecnie obserwuje się wzrost zainteresowania niekonwencjonalnymi złożami ropy naftowej. Ze względu na specyfikę tych złóż ich poszukiwanie i eksploatacja wymaga stosowania odmiennych technologii niż w przypadku złóż konwencjonalnych. Technologie te mogą stanowić znaczące zagrożenie dla środowiska.

Wpływ poszukiwań i eksploatacji złóż ropy niekonwencjonalnej określono biorąc pod uwagę charakterystykę poszczególnych technologii stosowanych w tych pracach oraz uwarunkowania polskie związane z dużą gęstością zaludnienia, znacznym stopniem zagospodarowania i dużą ilością terenów chronionych.

Eksploatacja złóż ropy ciężkiej może negatywnie wpływać na większość elementów środowiska. W największym stopniu na środowisko, zwłaszcza wody podziemne i atmosferę może wpływać eksploatacja metodami termicznymi i termiczno-chemicznymi.

W przypadku złóż ropy zamkniętej największe oddziaływanie na środowisko może wiązać się z hydraulicznym szczelinowaniem. W warunkach polskich zabieg ten najbardziej może oddziaływać na zasoby wód i powodować wyłączenie z użytkowania znacznych obszarów.

*Pracę wykonano w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.190.555.*

## Literatura

- Abu El Ela, M. (2012). Egyptian Fields have Large Potential for Enhanced Oil Recovery Technology. *Oil & Gas Journal*, 110 (10).
- Aguilera, R.F. & Radetzki, M. (2015). Rewolucja łupkowa: Światowe rynki gazu i ropy naftowej w warunkach transformacji. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 31 (1), 5-26.
- Altmann, M., Capito, S., Lechtenböhrer, S., Matra, Z., Weindorf, W., Zittel, W. (2011). *Impacts of shale gas and shale oil extraction on the environment and on human health*. European Parliament, June 2011.
- Dusseault, M.B. & Bilak, R.A. (1998). Mitigation of Heavy Oil Production Environmental Impact through Large-Scale Slurry Fracture Injection of Wastes. *Paper SPE-47217-MS*.
- EIA (2013). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States*. US Energy Information Administration. Dostępne on-line: <http://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/>, June 2013.

- Gleick, P. (1994). Water and Energy. *Annual Review of Energy and the Environment*, 19 (1), 267-299.
- Gordon, D. (2012). Understanding Unconventional Oil. The Carnegie Endowment, May 2012. Dostępne on-line: <http://carnegieendowment.org/2012/05/03/understanding-unconventional-oil>.
- Karnkowski, P. (1993). *Złoża ropy naftowej i gazu ziemnego w Polsce*. Wyd. Geos, Kraków.
- Law, B.E. & Curtis, J.B. (2002). Introduction to unconventional petroleum systems. *AAPG Bull.*, 86 (11), 1851-1852.
- Matthew, E. & Mantell, P.E. (2011). *Produced Water Reuse and Recycling Challenges and Opportunities Across Major Shale Plays*. W: Proceedings of the Technical Workshops for the Hydraulic Fracturing Study: Water Resources Management, PA 600/R-11/048, May 2011.
- Meyer, R.F., Attanasi, E.D., Freeman, P.A. (2007). *Heavy oil and natural bitumen resources in geological basins of the world*. U.S. Geological Survey Report 2007-1084. Dostępne on-line: <http://pubs.usgs.gov/of/2007/1084/>.
- Neff, J. M. & Hagemann, R. (2007). Environmental Challenges of Heavy Crude Oils: Management of Liquid Wastes. *Paper SPE 101973*, 1-9.
- OTA (1978). *Enhanced Oil Recovery Potential in the United States*. United States Congress' Office of Technology Assessment, Washington, DC, 278.
- PIG-PIB (2012). *Ocena zasobów wydobywalnych gazów ziemnego i ropy naftowej w formacjach łupkowych dolnego paleozoiku w Polsce (basen bałtycko-podlasko-lubelski)*. Raport pierwszy. PIG-PIB Warszawa, marzec 2012.
- Rivera, L.E. (2014). Issue Paper: Aquifer Integrity Under The Influence of Thermal Extraction of Bitumen and Heavy Oil. *SPE paper - 171048-MS*.
- Schmitt, D. (2005). Heavy and Bituminous oils: Can Alberta save the world? *Preview*, 22-29.
- Schmoker J.W. (1995). *Method for assessing continuous-type (unconventional) hydrocarbon accumulations*. W: Gautier, D.L., Dolton, G.L., Takahashi, K.I., Varnes, K.L., eds. - National assessment of United States oil and gas resources – Results, methodology, and supporting data: U.S. Geological Survey Digital Data Series DDS-30.
- Veil, J.A. & Quinn, J.J. (2008). *Water Issues Associated Heavy Oil Production*. Technical Report ANL/EVS/R-08/4, 64.
- Woźnicka, M. & Koniecznyńska, M. (2014). *Jak poszukiwanie gazu łupkowego może wpłynąć na środowisko?* Dostępne on-line: <http://infolupki.pgi.gov.pl/pl/srodowisko/jak-poszukiwanie-gazu-lupkowego-moze-wplynac-na-srodowisko>.

## **Environmental Aspects of Unconventional Oil Exploitation**

### **Abstract**

Unconventional oil resources account for about 2/3 of all crude oil resources in the world. In recent years there has been an increase in production from those reservoirs, primarily in the US, Canada and Venezuela. Unconventional oil deposits require special preparations for the production and specific oil recovery methods. Stimulation treatments as well as enhanced oil recovery methods can quite significantly affect the environment.

Exploitation of tight oil accumulated in shale or other sedimentary rocks with low permeability will require a multi-stage hydraulic fracturing, which could potentially negatively affect water resources and their state. These treatments will cause the exclusion from the use of fairly significant areas.

Heavy oil production, due to its physicochemical properties is carried out by methods reducing the density and viscosity of the oil (thermal, chemical and thermo-chemical). These methods may adversely affect the atmospheric air and groundwater status. Preparation of steam and hot water used in thermal methods will result in a large emission of pollutants. Thermal processes occurring in the deposit and its overburden can cause changes in the chemical composition of groundwater and their hydrodynamics.

In Poland, unconventional oil resources are not well recognized. Geological indications show that the tight oil deposits (shale oil) can exist in the Lower Paleozoic shale in the Baltic-Podlasie-Lublin Basin and in the Holy Cross Mountains. Tight oil deposits are accumulated in shale of the Menillite Beds and sandstones they may also be present in the Outer Carpathians. In Poland, one heavy oil deposit has been discovered in the Carpathian Foredeep, that is not exploited.

The environmental impact of the unconventional oil exploitation was determined taking into account the characteristics of the different technologies used in the exploration and exploitation of unconventional oil and Polish conditions associated with high population density, a significant degree of planning and plenty of protected areas. We analyzed the impact of hydraulic fracturing and crude, closed and heavy oil extraction methods (thermal, chemical and thermo-chemical properties). The influence of the atmosphere (emissions), water (demand and pollution) and land use. The scale of impact on individual elements of the environment has been assigned from 0 to 3.

The biggest impact on the environment may be associated with the thermal and thermo-chemical heavy oil recovery methods. During the extraction of tight oil greatest impact on the environment may be associated with hydraulic fracturing. In Polish conditions, this treatment is most likely to impact on water resources and cause exclusion from the use of large areas.

### **Streszczenie**

Zasoby ropy naftowej niekonwencjonalnej stanowią około 2/3 wszystkich zasobów ropy na świecie. W ostatnich latach obserwuje się wzrost wydobycia z tych złóż, głównie w USA, Kanadzie i Wenezueli. Złoża ropy niekonwencjonalnej wymagają stosowania specjalnych zabiegów przy ich przygotowaniu do eksploatacji oraz specyficznych metod wydobycia. Zarówno zabiegi zwiększające wydobycie, jak i zaawansowane metody eksploatacji mogą dość znacząco wpływać na stan poszczególnych elementów środowiska.

Eksploatacja ropy zamkniętej zgromadzonej w łupkach lub innych skałach osadowych będzie wymagała wykonania wieloetapowego szczelinowania hydraulicznego, które może potencjalnie negatywnie oddziaływać na zasoby i stan wód. Zabiegi te będą powodowały również wyłączenie z użytkowania dość znaczących obszarów.

Wydobycie ropy ciężkiej, ze względu na jej właściwości fizykochemiczne prowadzone jest metodami zmniejszającymi gęstość i lepkość ropy (termicznymi, chemicznymi i termiczno-chemicznymi). Metody te mogą negatywnie wpływać na stan powietrza atmosferycznego oraz wody podziemne. Przygotowanie pary wodnej i gorącej wody wykorzystywanych w metodach termicznych będzie skutkowało dużą emisją zanieczyszczeń. Procesy termiczne zachodzące w złożu i jego nadkładzie mogą powodować zmiany w składzie chemicznym wód podziemnych i ich hydrodynamicie.

W Polsce zasoby ropy niekonwencjonalnej nie są dobrze rozpoznane. Przesłanki geologiczne wskazują, że złoża ropy zamkniętej (w łupkach) mogą występować w łupkach dolnopaleozoicznych basenu bałtycko-podlasko-lubelskiego i Gór Świętokrzyskich. Złoża ropy zamkniętej w łupkach menilitowych i piaskowcach mogą występować również w Karpatach zewnętrznych. W Polsce odkryto jedno złożo ropy ciężkiej w zapadlisku przedkarpackim, które nie jest eksploatowane.

Oddziaływania na środowisko eksploatacji złóż ropy niekonwencjonalnej określono biorąc pod uwagę charakterystykę poszczególnych technologii stosowanych w poszukiwaniu i eksploatacji ropy niekonwencjonalnej oraz uwarunkowania polskie związane z dużą gęstością zaludnienia, znacznym stopniem zagospodarowania i dużą ilością terenów chronionych. Przeanalizowano oddziaływanie hydraulicznego szczelinowania i eksploatacji złóż ropy zamkniętej

oraz metody wydobycia ropy ciężkiej (termiczne, chemiczne i termiczno-chemiczne). Określono wpływ na atmosferę (emisja zanieczyszczeń), wody (zapotrzebowanie i zanieczyszczenie) oraz użytkowanie terenu. Przyjęto skalę oddziaływań na poszczególne elementy środowiska od 0 do 3.

Największy wpływ na środowisko może wiązać się z eksploatacją złóż ropy ciężkiej metodami termicznymi i termiczno-chemicznymi. Przy wydobyciu ropy ze złóż ropy zamkniętej największe oddziaływanie na środowisko może wiązać się z hydraulicznym szczelinowaniem. W warunkach polskich zabieg ten najbardziej może oddziaływać na zasoby wód i powodować wyłączenie z użytkowania znacznych obszarów.

**Słowa kluczowe:**

ropa ciężka, ropa zamknięta, eksploatacja, oddziaływanie na środowisko

**Keywords:**

heavy oil, tight oil, exploitation, exploration, environmental impact