

## ORGANIZACJA SIECI MONITORINGOWYCH WÓD PODZIEMNYCH W REJONACH POSZUKIWANIA I UDOSTĘPNIANIA ZŁÓŻ WĘGLOWODORÓW Z FORMACJI ŁUPKOWYCH

### GROUNDWATER MONITORING NETWORK IN THE AREAS OF EXPLORATION AND AVAILABILITY OF HYDROCARBON DEPOSITS FROM SHALE FORMATIONS

EWA KROGULEC<sup>1</sup>, KATARZYNA SAWICKA<sup>1</sup>

**Abstrakt.** W artykule przedstawiono dotychczasowe polskie doświadczenia w opracowaniu głównych założeń optymalnego funkcjonowania sieci monitoringowej wód podziemnych w rejonie poszukiwania złóż węglowodorów z formacji łupkowych. Projektowanie właściwego zasięgu, częstotliwości i zakresu badań omówiono w powiązaniu z rozwiązaniami i metodami opróbowania hydrogeochemicznego w rejonie już udostępnionych złóż typu shale gas w USA i Kanadzie oraz uwzględniając europejskie i krajowe wytyczne w zakresie ochrony wód, wynikające z obowiązujących dyrektyw i rozporządzeń.

**Słowa kluczowe:** system monitoringu wód podziemnych, gaz z formacji łupkowych.

**Abstract.** In the article previous polish experiences in the elaboration of the major assumptions of optimal groundwater monitoring operations in the areas of hydrocarbon deposits exploration from shale formations were presented. Projection of appropriate extent, frequency and range of research in relation with solutions and methods of hydrochemical sampling in the area of available shale gas deposits in the USA and Canada was discussed taking into account European and national guidelines in the scope of water protection obligated in directives and regulations being in force.

**Key words:** groundwater monitoring system, shale gas.

#### CEL PRACY

Celem pracy było przedstawienie zasad organizacji sieci monitoringowej wód podziemnych w rejonie poszukiwania złóż węglowodorów z formacji łupkowych oraz polskich doświadczeń w opracowaniu głównych założeń optymalnego funkcjonowania sieci monitoringowej. Projektowanie właściwego zasięgu, częstotliwości i zakresu badań w rejonie już udostępnionych złóż typu shale gas w USA i Kanadzie, uwzględniając europejskie oraz polskie uwarunkowania prawne i środowiskowe, wymaga szczegółowych analiz i roz-

wizań. Kluczowym elementem badań monitoringowych wód podziemnych na obszarach poszukiwań i eksploatacji węglowodorów niekonwencjonalnych jest charakterystyczna wieloetapowość obserwacji, ze szczególnym podkreśleniem rozpoznania stanu bazowego. Wyniki analizy sieci monitoringowych oraz własne doświadczenia wskazują na potrzebę zindywidualizowanego podejścia do opracowania koncepcji i projektu sieci monitoringowej, każdorazowo dla konkretnego przedsięwzięcia.

---

<sup>1</sup> Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; e-mail: ewa.krogulec@uw.edu.pl; sawicka@uw.edu.pl;

## UWARUNKOWANIA PRAWNE ORGANIZACJI SIECI MONITORINGOWYCH WÓD PODZIEMNYCH

Założenia dotyczące zakresu, zasięgu i częstotliwości badań wód podziemnych w ramach monitoringu są określone w obowiązujących regulacjach prawnych i wytycznych branżowych. Należą do nich: ogólnie obowiązujące krajowe i międzynarodowe akty prawne, specjalne akty prawne związane z koncesjonowaniem, poszukiwaniem i eksploatacją węglowodorów oraz zasady dobrych praktyk opracowane i wdrażane przez wykonawców sieci monitoringowych.

**Ogólne przepisy środowiskowe** dotyczą regulacji prawnych w krajach, w których nie ma opracowanych przepisów do oceny potencjalnego wpływu działalności poszukiwawczej i wydobywczej węglowodorów z formacji łupkowych na wody podziemne. Kraje należące do Unii Europejskiej są zobowiązane do przestrzegania rozwiązań legislacyjnych obowiązujących w Unii i/lub do implementacji tych rozwiązań do krajowych aktów prawnych. Do podstawowych regulacji unijnych należą: Ramowa Dyrektywa Wodna, Dyrektywa o wodach podziemnych oraz Dyrektywa w sprawie norm jakości w dziedzinie polityki wodnej. W Polsce projektowanie i wykonanie sieci monitoringowej do obserwacji potencjalnego oddziaływania poszukiwania gazu z formacji

łupkowych oparte jest na „ogólnych” aktach prawnych i decyzjach administracyjnych, do których należą Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze oraz 4 podstawowe rozporządzenia wykonawcze. Zapisy w obowiązujących aktach prawnych i wytycznych nie obejmują jednak charakterystyki składu chemicznego płynów technologicznych do szczelinowania hydraulicznego i potencjalnych zagrożeń dla wód podziemnych związanych ze stosowaniem tej technologii.

**Specjalne akty prawne** regulujące problematykę monitoringu wód podziemnych przy wydobyciu gazu z formacji łupkowych wprowadzono w latach 2011–2012 w kilku stanach USA (tab. 1). Nie są to regulacje federalne, a poszczególne stany przyjęły zarówno różne konstrukcje legislacyjne, jak i odmienne ustalenia dotyczące zasięgu, częstotliwości i zakresu prowadzonych badań. Szczególną formą badań wód jest monitoring realizowany w oparciu o formułę prawną domniemania podlegającego obaleniu (*rebuttable presumption*) wprowadzony w stanach Pensylwanii i Zachodniej Wirginii (Mutz, Kruger, 2012). Wspólnym elementem różnych form monitoringu jest zasadnicza rola monitoringu bazowego, czyli

**Tabela 1**

### Przepisy prawne i wytyczne do monitoringu wód podziemnych w rejonach poszukiwania i eksploatacji gazu łupkowego (zachowano oryginalną nazwę organów decydujących o zasadach monitoringu wód podziemnych w konkretnych rejonach)

Regulatory requirements and guidelines for groundwater monitoring programs in the areas of exploration and exploitation of shale gas

Kraj/Stan/ Organizacja	Organ	Opróbowanie wód podziemnych	Zasady opróbowania	Termin wprowadzenia
USA/ Nowy Jork	New York State Department of Environmental Conservation (DEC)	obowiązkowe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• opróbowanie we wszystkich studniach w odległości 1000 ft (305m) od padu za zgodą właścicieli lub 2000 ft (710 m) jeśli niemożliwe jest opróbowanie w studniach ze względu na ich brak lub brak zgody właścicieli</li> <li>• pierwsze wstępne opróbowanie przed odwierceniem otworu na padzie lub przed odwierceniem kolejnego otworu na padach wielootworowych</li> <li>• opróbowanie po 3 miesiącach od zakończenia wiercenia (osiągnięciu ostatecznej głębokości)</li> <li>• opróbowanie po 3 i 6 miesiącach oraz po roku od szczelinowania hydraulicznego</li> </ul>	styczeń 2012  <a href="http://www.dec.ny.gov/docs/materials_minerals_pdf/rdsgeisch70911.pdf">http://www.dec.ny.gov/docs/materials_minerals_pdf/rdsgeisch70911.pdf</a>
USA/ Ohio	Ohio Department of Natural Resources	obowiązkowe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• opróbowanie przed odwierceniem otworu w odległości do 1500 ft (457 m) od otworu na obszarach miejskich i wiejskich</li> <li>• nie wymaga się opróbowania po zakończeniu wiercenia</li> </ul>	czerwiec 2012 <a href="http://www.legislature.state.oh.us/bills.cfm?ID=129_SB_315">http://www.legislature.state.oh.us/bills.cfm?ID=129_SB_315</a>
USA/ Pensylwania	Pennsylvania Department of Environmental Protection, Office of Oil and Gas Management	domniemanie podlegające obaleniu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• inwestor, który spowodował zanieczyszczenie lub szcerpanie zasobów wód jest zobowiązany do przywrócenia ich stanu lub zastąpienia ich zasobami wód innego pochodzenia, w takiej samej ilości i jakości</li> <li>• odpowiedzialność za zanieczyszczenie wód obciąża inwestora, którego odwiert znajduje się w odległości do 2500 ft (762 m), a zanieczyszczenie nastąpiło w ciągu 12 miesięcy od wiercenia, szczelinowania lub wykonywania innych operacji na odwiercie</li> <li>• inwestor jest zobowiązany do tymczasowego zapewnienia zaopatrzenia w wodę pitną dopóki nie zostaną przywrócone do odpowiedniego stanu ilościowego i jakościowego dotychczas wykorzystywane zasoby</li> <li>• właściciele studni i ujęć muszą być uprzedzeni, że w razie odmowy dostępu do tych obiektów w celu wykonania badań, inwestor nie może być pociągnięty do odpowiedzialności w przypadku późniejszych zmian stanu lub jakości wód</li> </ul>	marzec 2012  <a href="http://files.dep.state.pa.us/OilGas/BOGM/BOGMPortalFiles/OilGasReports/2012/act13.pdf">http://files.dep.state.pa.us/OilGas/BOGM/BOGMPortalFiles/OilGasReports/2012/act13.pdf</a>

Tabela 1 cd.

Kraj/Stan/ Organizacja	Organ	Opróbowanie wód podziemnych	Zasady opróbowania	Termin wprowadzenia
USA/ Zachodnia Wirginia	West Virginia Department of Environmental Protection	domniemanie podlegające obaleniu	<ul style="list-style-type: none"> <li>zakłada się, że otwór eksploatacyjny gazu jest prawdopodobną przyczyną zanieczyszczenia wód w promieniu 1500 ft (457 m) od odwiertu, a do inwestora należy obowiązek przedstawienia dowodów wykluczających że: <ul style="list-style-type: none"> <li>zanieczyszczenie istniało przed odwierceniem otworu lub zabiegami na nim prowadzonymi, co jest potwierdzone wynikami badań</li> <li>właściciel studni lub ujęcia odmówił dostępu do tych obiektów, uniemożliwiając przeprowadzenie badań</li> <li>badaniami obejmuje się zasoby wodne znajdujące się w większej odległości niż 1500 ft od odwiertu</li> <li>zanieczyszczenie wystąpiło później niż 6 miesięcy po wykonaniu otworu lub prowadzeniu na nim zabiegów</li> <li>zanieczyszczenie spowodowane było innymi przyczynami niż wiercenie</li> </ul> </li> </ul>	<p>grudzień 2011</p> <p><a href="http://www.legis.stat.w.v.us/Bill_Status/bills_text.cfm?bill-doc=hb401%20enr.htm&amp;yr=2011&amp;sesstype=4X&amp;i=401">http://www.legis.stat.w.v.us/Bill_Status/bills_text.cfm?bill-doc=hb401%20enr.htm&amp;yr=2011&amp;sesstype=4X&amp;i=401</a></p>
USA/ Alaska	Alaska Oil and Gas Conservation Commission	może być wymagane	<ul style="list-style-type: none"> <li>badania i inspekcje będą zalecane w celu ustalenia ryzyka migracji płynów do wód użytkowych; komisja może wykorzystać prawo do przeprowadzenia inspekcji i dochodzenia na miejscu prowadzenia działalności, oceniając czy sprzęt, praktyki, dokumentacje spełniają wymagania określone w przepisach prawnych</li> </ul>	<p>2011</p> <p><a href="http://www.legis.state.ak.us/basis/folioproxy.asp?url">http://www.legis.state.ak.us/basis/folioproxy.asp?url</a></p>
USA/ Kalifornia	State of California Department of Conservation, Division of Oil, Gas & Geothermal Resources	może być wymagane	<ul style="list-style-type: none"> <li>inspekcje mogą zalecać inwestorowi wdrożenie programu monitoringowego, zaprojektowanego do wykrywania zrzutów do wód i gruntów substancji pochodzących z urządzeń i zbiorników służących do produkcji ropy i gazu</li> </ul>	<p>październik 2012</p> <p><a href="ftp://ftp.consrv.ca.gov/pub/oil/laws/PRC01.pdf">ftp://ftp.consrv.ca.gov/pub/oil/laws/PRC01.pdf</a></p>
USA/ Północna Dakota	North Dakota Industrial Commission, Department of Mineral Resources, Oil and Gas Division	niewymagane	<ul style="list-style-type: none"> <li>właściciele gruntów znajdujących się w odległości pół mili (ok. 805 m) od studni eksploatacyjnej gazu, którzy mogą udowodnić, że użytkowane przez nich wody ucierpiały pod względem jakości i/lub ilości, mogą ubiegać się o zwrot kosztów napraw, uzdatniania lub dostarczania wody w ilości i o jakości jaką miały przed zakończeniem procesów wiercenia</li> </ul>	<p>2009</p> <p><a href="https://www.dmr.nd.gov/oilgas/rules/rulebook.pdf">https://www.dmr.nd.gov/oilgas/rules/rulebook.pdf</a></p>
USA/ Alabama	State Oil and Gas Board of Alabama	niewymagane	<ul style="list-style-type: none"> <li>inwestor winien prowadzić prace wiertnicze i eksploatacyjne w taki sposób, żeby zapobiec zanieczyszczeniu zasobów wód pitnych; specjalne zalecenia dotyczą ochrony zbiorników wód artezyjskich oraz zabezpieczenie przed zanieczyszczeniem wód przez niepożądane substancje i składniki szkodliwe związane z eksploatacją gazu</li> </ul>	<p>listopad 2011</p> <p><a href="http://www.gsa.state.al.us/documents/misc_ogb/goldbook.pdf">http://www.gsa.state.al.us/documents/misc_ogb/goldbook.pdf</a></p>
USA/ AECOM Technology Corporation	Połączenie zaleceń Colorado Oil & Gas Association (COGA) oraz Colorado Oil & Gas Conservation Commission (COGCC)	zalecany	<ul style="list-style-type: none"> <li>inwestorom zaleca się prowadzenie monitoringu określającego stan bazowy przed wierceniem (miesiąc przed rozpoczęciem prac) poprzez: <ul style="list-style-type: none"> <li>pobranie 2 próbek wody w promieniu 1 mili/ ok. 1600 m (lub 0,5 mili/ ok. 800 m wg COGA) od odwiertu, próbki pobierane są z ujęcia/ studni oraz ze źródła (jeśli to możliwe przed i za odwiertem), przy braku studni opróbowanie dotyczy wód powierzchniowych</li> <li>ponowne opróbowanie po zakończeniu wiercenia, po roku (wg COGA), lub po roku i 3 latach (wg COGCC)</li> <li>dotatkowe opróbowanie tylko w razie zastrzeżeń właścicieli ujęć co do jakości wody, opróbowanie wody w studniach w promieniu 1 mili/ ok. 1600 m</li> </ul> </li> </ul>	<p>2012 – Shell Baseline Groundwater Sampling Program</p> <p><a href="http://www.hughes-collaboration.com/app/download/6810937404/AECOM+water+well+testing+15-Mar-2012.pdf">http://www.hughes-collaboration.com/app/download/6810937404/AECOM+water+well+testing+15-Mar-2012.pdf</a></p>
Kanada	Canadian Association of Petroleum Producers (CAPP)	zalecany	<ul style="list-style-type: none"> <li>inwestorom należącym do CAPP zaleca się prowadzenie monitoringu określającego stan bazowy, w tym monitoring: <ul style="list-style-type: none"> <li>lokalnego, próbki wód z ujęć oraz źródeł w promieniu 250 m od odwiertu, badania w zakresie umożliwiającym porównanie z obowiązującymi przepisami dotyczącymi jakości wód</li> <li>regionalnego, jeśli nie funkcjonuje, zaleca się by firmy włączyły się do współpracy z właściwymi organami administracyjnymi i naukowymi w celu opracowania i wdrożenia odpowiedniego systemu</li> </ul> </li> </ul>	<p>2011 – Guiding Principles and Operating Practices for Hydraulic Fracturing</p> <p><a href="http://www.capp.ca/canadaIndustry/naturalGas/ShaleGas/Pages/default.aspx#operating">http://www.capp.ca/canadaIndustry/naturalGas/ShaleGas/Pages/default.aspx#operating</a></p>

rozpoznania jakości wód podziemnych przed przystąpieniem do prac wiertniczych. W wielu rejonach intensywnej eksploatacji (USA) jest to praktycznie niemożliwe.

**Zasady dobrych praktyk** stanowią zbiór wytycznych i wskazówek dla firm zajmujących się poszukiwaniem i eksploatacją gazu z formacji łupkowych, opracowanych przez

służby geologiczne i hydrogeologiczne, ośrodki naukowe, konsorcja lub stowarzyszenia. Przykładami takich wytycznych są, m.in.: Guiding Principles and Operating Practices for Hydraulic Fracturing (2011) zalecany przez Canadian Association of Petroleum Producers (CAPP) oraz Shell Baseline Groundwater Sampling Program (Paulson, 2012)

opracowany przez korporacje AECOM na podstawie zaleceń instytucji i organizacji z Kolorado (tab.1). Mechanizmem służącym do kontroli oddziaływania na środowisko inwestycji związanych z poszukiwaniem i eksploatacją gazu z formacji łupkowych, może być powszechne stosowanie praktyk zarządzania ryzykiem środowiskowym, co zaleca, m. in rząd Wielkiej Brytanii (The Royal Society, 2012) przy wszystkich realizowanych inwestycjach. Firmy mają być zo-

bowiązane do zastosowania środków służących do ograniczenia zagrożeń do najniższego racjonalnie możliwego poziomu, przy wykorzystaniu najlepszych dostępnych metod. Ważnym elementem zarządzania ryzykiem środowiskowym w takim przypadku jest opracowanie niezależnego monitoringu wód podziemnych przed, w trakcie oraz po zakończeniu zabiegów na odwiertach do poszukiwania i wydobywania gazu łupkowego (Talbot, Morris, 2012).

## UWAGI W ZAKRESIE PODSTAWOWYCH ELEMENTÓW MONITORINGU WÓD PODZIEMNYCH W REJONIE POSZUKIWAŃ I EKSPLOATACJI WĘGLOWODORÓW Z FORMACJI ŁUPKOWYCH

Podstawowym warunkiem organizacji określonej sieci monitoringowej jest zakres i częstotliwość opróbowania. Niezbędny jest prawidłowy dobór parametrów i składników chemicznych użytecznych w jednoznacznej identyfikacji pochodzenia zanieczyszczeń (z działalności prowadzonej w rejonie odwiertu) i jednocześnie możliwych do precyzyjnego oznaczenia ze względów technicznych i ekonomicznych. Zalecenia w tym zakresie wymagają rozpoznania warunków hydrogeologicznych i hydrogeochemicznych dla stanu bazowego, czyli przed rozpoczęciem prac wiertniczych. Hydrogeochemiczny stan bazowy rozumieć należy, jako taki skład chemiczny wód podziemnych, który stanowić będzie poziom odniesienia (poziom/ stan referencyjny) i umożliwi bezpośrednie porównanie i ocenę zmian chemizmu wody w kolejnych etapach monitoringu, zależnych od prac i zabiegów prowadzonych na odwiercie (tab. 2).

Zakres właściwości i składników badanych w wodzie musi reprezentować wskaźniki zanieczyszczeń charakterystyczne dla 1) użytkowych wód podziemnych danego rejonu, 2) wód złożowych towarzyszących łupkom gazonośnym,

3) płynów technologicznych używanych do szczelinowania hydraulicznego i odzyskanych z odwiertu. Ważnym etapem monitoringu wód podziemnych powinna być ocena stopnia zanieczyszczenia poprzez określenie aktualnego stanu chemicznego wód oraz porównanie z dopuszczalnymi stężeniami substancji w przypadku wód użytkowych, wykorzystywanych do zaopatrzenia. W celu oceny potencjalnego wpływu procesu szczelinowania na wody podziemne, za najlepsze rozwiązanie należy uznać system monitoringowy składający się ze specjalnie zaprojektowanych i wykonanych piezometrów do prowadzenia badań lokalnych (wokół wiertni) oraz istniejące ujęcia wód podziemnych, źródła i ciekły powierzchniowe tworzące regionalną sieć monitoringową (tab. 2, 3).

W obecnych decyzjach środowiskowych w Polsce, co wynika z doświadczeń autorek artykułu, zaleca się badania monitoringowe bezpośrednio w rejonie wiertni, w tym wokół zbiorników ziemnych na płyny technologiczne. Regionalne Dyrekcje Ochrony Środowiska zwracają uwagę na potrzebę prowadzenia badań w skali lokalnej o ile potencjalne od-

**Tabela 2**

**Uwagi w zakresie podstawowych elementów monitoringu wód**  
Comments on the basic elements of groundwater monitoring programs

Element monitoringu	Podstawowe zalecenia	Uwagi
Liczba, rodzaj i głębokość punktów obserwacyjnych	zależy ściśle od warunków hydrogeologicznych (ze szczególnym uwzględnieniem kierunków filtracji wód podziemnych), od sposobu oraz skali prowadzonych poszukiwań i późniejszej eksploatacji, a także od specyfiki zagospodarowania przestrzennego	konieczność zindywidualizowanego podejścia do opracowania koncepcji i projektu sieci monitoringowej, każdorazowo przeznaczonej dla konkretnego przedsięwzięcia
Zasięg przestrzenny badań	najczęściej specjalne regulacje prawne lub zalecenia dobrych praktyk ograniczają zasięg opróbowania wód podziemnych do najbliższego otoczenia odwiertu – w promieniu od kilkudziesięciu do kilkuset metrów; optymalne systemy monitoringu powinny obejmować sieć regionalną i lokalną	bezpośrednia implementacja w Polsce zaleceń dotyczących zasięgu opróbowania (z krajów o wieloletnim doświadczeniu w wydobywaniu gazu łupkowego) jest utrudniona ze względu na odmienne warunki geologiczne i hydrogeologiczne warunkujące wydobywanie gazu
Częstotliwość opróbowania wód podziemnych	zależy głównie od sposobu i dynamiki prac poszukiwawczych, udostępniających i wydobywanych prowadzonych na wiertni; najważniejszym elementem badań monitoringowych jest charakterystyczna wieloetapowość obserwacji, ze szczególnym podkreśleniem znaczenia badań i oceny hydrogeochemicznego stanu bazowego, przed rozpoczęciem wierceń poszukiwawczych; po każdym kolejnym cyklu prac i zabiegów przeprowadzonych na odwiercie jest konieczne wykonanie następnego etapu badań monitoringowych	opróbowanie systematyczne, w stałych interwałach czasowych jest zasadne dopiero na etapie prowadzenia stabilnej i długookresowej eksploatacji oraz po jej zakończeniu, w celu oceny prawidłowej likwidacji otworu i pomyślnej rekultywacji terenu

Tabela 3

**Założenia projektowanej sieci monitoringowej wód podziemnych w rejonach poszukiwania i eksploatacji gazu łupkowego**  
Basic assumptions for the design of groundwater monitoring programs in the areas of shale gas exploration and exploitation

Monitoring wód podziemnych przy poszukiwaniu i wydobywaniu gazu z formacji łupkowych				
Zasięg		Częstotliwość	Zakres badań	
Lokalny	Regionalny	Etap I. Stan bazowy – na padzie przed realizacją prac przygotowawczych i wiertniczych	<b>Wskaźniki/ znaczniki charakterystyczne dla:</b>	
			wód użytkowych	Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup>
		Etap II. Po zakończeniu wiercenia	wód złożowych	Cl, Na, Sr, Ba, Br, J, Fe, Li, NORM (Ra, Rn, Th, U, K)
			płynów technologicznych	izopropanol, glikol alkaliczny, formamid, aldehyd glutarowy, fenol, pestycydy (DDT, HCH)
		Etap III. Po wykonaniu szczelinowania hydraulicznego	<b>Badania składników i właściwości fizykochemicznych:</b>	
			Terenowe	
			temperatura, odczyn pH, PEW, potencjał utl.-red. (Eh), NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , S <sup>-</sup> , żelazo	
		Etap IV. Po każdym kolejnym zabiegu lub pracach na padzie (wiercenia horyzontalne, kolejne szczelinowania)	Laboratoryjne	
			– ogólne	mineralizacja, twardość, alkaliczność
			– jony	Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup>
			– metale	Ag, Al, As, Ba, B, Cr, Cu, Cd, Co, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Tl, Ti, U, V, Zn
			– organiczne	TOC, oleje mineralne (C <sub>10</sub> –C <sub>40</sub> ), benzyny (C <sub>6</sub> C <sub>12</sub> ), pestycydy (DDT, HCH), fenol, izopropanol, glikol alkaliczny
		Etap V. W trakcie eksploatacji	– BTEX	benzen, toluen, etylobenzen, styren, rBTEX
			– WWA	naftalen, acenaftylen, fluoren, antracen, fluoranten, piren, chryzen, benzo(a)piren, ΣWWA
			– gazy	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
		Etap VI. Po zakończeniu wydobywania i likwidacji odwiertu	Izotopowe	
<sup>12</sup> C/ <sup>13</sup> C-CH <sub>4</sub> , δ <sup>18</sup> O, δ <sup>2</sup> H	jeśli >1 mg/dm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> w wodzie (wg COGA)			
	jeśli >20 mg/dm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> w wodzie (wg Chesapeake Operating Inc.)			

działanie odwiertu nie obejmuje obszarów chronionych lub wrażliwych na zanieczyszczenie (GZWP, Natura 2000). Zakres i szczegółowość badań związanych z monitoringiem

są w Polsce znacznie szersze niż przedstawiona przez Johnson i Boersma w artykule „Energy (in) security in Poland the case of shale gas (2013).

### DOŚWIADCZENIA POLSKIE – PRZYKŁAD

Od ponad 3 lat trwają w Polsce prace poszukiwawcze gazu z formacji łupkowych, głównie w rejonach pomorskim i lubelskim. Dla tych obszarów powstały już pierwsze autorskie projekty sieci monitoringowych wód podziemnych.

Na podstawie własnych doświadczeń przedstawiono opis zaproponowanych i już wdrożonych systemów monitoringu wód podziemnych. Ma on charakter ogólny ze względu na prawo do tzw. informacji geologicznej oraz na trwające prace na obecnym etapie realizacji badań monitoringowych. Jedną z zaprojektowanych (i już działających) sieci scharakteryzowano pod względem liczby i rodzaju punktów obserwacyjnych, częstotliwości i zakresu opróbowania oraz zasięgu prze-

strzennego obserwacji monitoringowych. Pierwszym zadaniem przed organizacją monitoringu wód podziemnych było zdefiniowanie ryzyka i zagrożenia prowadzonych prac poszukiwawczych. Następnie po zdefiniowaniu ryzyka określono potencjalne zagrożenie wód podziemnych wyłącznie ze strony prac prowadzonych na obszarze wiertni (pada).

Pomimo, że wiercenie jest przedsięwzięciem potencjalnie znacząco oddziaływującym na środowisko, to system monitoringu wód podziemnych jest w zasadzie przeznaczony do oceny przypuszczalnego wpływu na wody podziemne, prac prowadzonych na wiertni oraz przechowywania tam substancji chemicznych. Zalecono wykonanie systemu monitoringowego



wód składającego się z sieci lokalnej oraz regionalnej. W jego skład wchodzi istniejące studnie, źródła oraz dodatkowo zaprojektowane piezometry rozmieszczone tak, żeby umożliwić pobranie próbek wody powyżej i poniżej wiercenia (na kierunku przepływu wód podziemnych). Sieć lokalna składa się z 18 piezometrów zaprojektowanych w obrębie wiertni, 12 z nich to płytkie piezometry służące do monitorowania potencjalnej migracji zanieczyszczeń ze zbiorników płynów technologicznych, 6 to piezometry zafiltrowane w obrębie użytkowego poziomu wodonośnego. Sieć regionalna składa się z 6 studni wierconych wykorzystywanych na potrzeby lokalnego zaopatrzenia w wodę, 2 źródeł oraz 2 punktów opróbowania wód powierzchniowych, pozostających w kontakcie hydraulicznym z wodami podziemnymi. Wyniki opróbowania umożliwią ocenę zmian chemizmu wody czwartorzędowego, użytkowego poziomu wodonośnego, Głównego Zbiornika Wód Podziemnych stanowiącego regionalną bazę drenażu oraz obszaru chronionego programem Natura 2000. Obiekty te znajdują się w odległości ok. 2–3 kilometrów od odwiertu. Badania monitoringowe rozpoczęto od wyznaczenia hydrogeochemicznego stanu bazowego na podstawie własnego opróbowania i analizy dostępnych danych archiwalnych. Kolejne etapy badań monitoringowych są w trakcie realizacji, adekwatnie do prac na wiertni. Odwiert poddano już szczelinowaniu, wierceniu horyzontalnemu oraz ponownemu szczelinowaniu (etap IV, wg tab. 3). We wszystkich etapach monitoringu prowadzono badania terenowe oraz laboratoryjne w zakresie przedstawionym w tab. 3, z wyłączeniem badań izotopowych, dla wykonania których nie było dotychczas przesłanek. W szerszym zakresie analizowano natomiast stężenia substancji organicznych oraz specyficznych składników płynów technologicznych modyfikując zakres badań zależnie od składu płynu szczelinującego i płynu zwrotnego badanego po każdym zabiegu szczelinowania.

Elementem monitoringu wód podziemnych, o charakterze badawczym i prognostycznym było modelowanie hydrogeochemiczne zmian składu płynu szczelinującego. Wykonano modele symulacyjne: „stan po szczelinowaniu” tj. modelujące możliwe zmiany płynu zwrotnego oraz modele „stanu prognozowanego” tj. pozwalające na przewidywanie możliwych scenariuszy zdarzeń (Krogulec, Sawicka, 2012). Wyniki analiz modelowych, wykraczają poza zakres niniejszego artykułu, ale mogą stanowić ważny element organizacji obserwacji monitoringowych, wymagający szerszych badań, a doświadczenia polskie potwierdzają ich zasadność (m. in. Xu i in., 2007; Krogulec, Sawicka, 2012; Zheng i in., 2013). Metody modelowe mogą być bezpośrednio wykorzystane w planowaniu zakresu analiz chemicznych w projektowanym monitoringu. Ponadto umożliwiają ocenę kierunków w jakich będą zachodzić zmiany składu chemicznego płynu zwrotnego po szczelinowaniu oraz sposób jego oddziaływania na odwiert i urządzenia w nim zainstalowane. Możliwe jest wykonanie modeli symulacyjnych potencjalnego mieszania się płynu szczelinującego oraz płynu zwrotnego z użytkowymi wodami podziemnymi. Analizy modelowe przeprowadzone dla różnych scenariuszy, mogą być przydatne do wyznaczenia miejsc opróbowania oraz jego zasięgu i wstępnej oceny stopnia zanieczyszczenia zasobów wodnych w wypadku teoretycznej awarii (Krogulec, Sawicka, 2012).

Zalecono konieczność przeprowadzenia oznaczeń izotopowych dopiero po wykryciu znacznych ilości metanu, w celu identyfikacji pochodzenia tego gazu. W kolejnych etapach monitoringu, w przypadku stwierdzenia wartości wskaźników zanieczyszczeń wyższych niż dla stanu bazowego (lub poprzedniego etapu monitoringu), będzie konieczna jednoznaczna identyfikacja ogniska zanieczyszczenia poprzez rozszerzenie zasięgu monitoringu oraz określenie możliwych kierunków i zasięgu migracji zanieczyszczeń.

## WNIOSKI

W badaniach monitoringowych dotyczących wpływu poszukiwań i eksploatacji węglowodorów z formacji łupkowych na wody podziemne, szczegółowej analizie wymagają podstawowe założenia projektowanej sieci obserwacyjnej. Na podstawie ogólnych regulacji prawnych i korzystając ze wskazówek pochodzących ze szczegółowych zagranicznych rozwiązań jest możliwy jak najlepszy dobór takich zasadni-

czych cech systemu monitoringowego jak: zasięg, częstotliwość i zakres badań. Do optymalizacji monitoringu jakościowego i interpretacji danych hydrogeochemicznych może być bardzo przydatne narzędzie jakim jest modelowanie hydrogeochemiczne. Wnioski końcowe w zakresie projektowanej sieci monitoringowej zestawiono w tabeli 3.

## LITERATURA

- ASSOCIATION of Petroleum Producers (CAPP), 2011 — Guiding Principles and Operating Practices for Hydraulic Fracturing. [adres: <http://www.capp.ca/canada/Industry/naturalGas/Shale-Gas/Pages/default.aspx#operating>].
- DYREKTYWA 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspól-

- notowego działania w dziedzinie polityki wodnej. Ramowa dyrektywa wodna (RDW).
- DYREKTYWA 2006/118/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 12 grudnia 2006 r. w sprawie ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniem i pogorszeniem ich stanu. Dyrektywa wód podziemnych (DWP).

- DYREKTYWA 2008/105/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie środowiskowych norm jakości w dziedzinie polityki wodnej, zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy Rady 82/176/EWG, 83/513/EWG, 84/156/EWG, 84/491/EWG i 86/280/EWG oraz zmieniająca dyrektywę 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady.
- JOHNSON C., BOERSMA T., 2013 — Energy (in) security in Poland the case of shale gas. *Energy Policy*, **53** (2013): 389–399.
- KROGULEC E., SAWICKA K., 2012 — Modelowa analiza przekształceń chemizmu płynów technologicznych stosowanych w pozyskiwaniu gazu z łupków (shale gas) metodą szczelinowania hydraulicznego. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **451**: 161–168.
- MUTZ K., KRUGER J., 2012 — Monitoring and Protecting Groundwater During Oil and Gas Development: Survey of state Sampling and Monitoring Rules. [adres: <http://www.oiland-gasbmps.org/workshops/COGCCgroundwater/presentations/Mutz2.pdf>].
- PAULSON J., 2012 — AECOM/Shell Baseline Groundwater Sampling Program. [adres: <http://www.hughescollaboration.com/app/download/6810937404/AECOM+water+well+testing+15-Mar-2012.pdf>].
- TALBOT S., MORRIS P., 2012 — UK Shale gas – the role of baseline and operational continuous ground-gas monitoring. [adres: [http://ipec.utulsa.edu/Conf2012/Papers/Presentations/Morris\\_Manuscript.pdf](http://ipec.utulsa.edu/Conf2012/Papers/Presentations/Morris_Manuscript.pdf)].
- THE ROYAL SOCIETY & The Royal Academy of Engineering, 2012 — Shale gas extraction in the UK: a review of hydraulic fracturing. [adres: [http://royalsociety.org/uploadedFiles/Royal\\_Society\\_Content/policy/projects/shale-gas/2012-06-28-Shale\\_gas.pdf](http://royalsociety.org/uploadedFiles/Royal_Society_Content/policy/projects/shale-gas/2012-06-28-Shale_gas.pdf)].
- USTAWA Prawo geologiczne i górnicze z dnia 9 czerwca 2011 r. (DzU Nr 163, poz. 981).
- XU, T., APPS, J.A., PRUESS, K., YAMAMOTO, H., 2007 — Numerical modeling of injection and mineral trapping of CO<sub>2</sub> with H<sub>2</sub>S and SO<sub>2</sub> in a sandstone formation. *Chemical Geology* **242**, 319–346.
- ZHENG L., SPYCHER N., BIRKHOLZER J., XU T., APPS J., KHARAKA Y., 2013 — On modeling the potential impacts of CO<sub>2</sub> sequestration on shallow groundwater: Transport of organics and co-injected H<sub>2</sub>S by supercritical CO<sub>2</sub> to shallow aquifers. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, **14**: 113–127.

## SUMMARY

Explorations of unconventional hydrocarbons have been carried out for several years in Poland and first author's projects of monitoring network for observation of groundwater chemistry state were designed. On the basis of own experiences, propositions of guidelines in the scope of: number and type of the observation points, frequency and range of the sampling and monitoring observation extend were presented in the article. A major element of groundwater monitoring research in the areas of unconventional hydrocarbon exploration and exploitation is specific multi-stage of the ob-

servations, with a specific accent at recognition of the basic state. In the range of propositions of amount and type of monitoring points, with exception of geological and regional and local hydrogeological conditions, a method and scale of conducted research and afterward exploitation as well as uniqueness of spatial development including presence of protected areas should be included. Presented conclusions indicate on necessity of individual approach to elaborate conception and monitoring network project, separately for particular venture.

