

Stanisław OSTAFICZUK*

Skojarzona eksploatacja gazu i ciepła z łupków

Streszczenie: Energia geotermiczna jest ciągle perspektywnym źródłem ciepła w użytkowaniu na dużą skalę.

Przeszkodą w przejściu z perspektyw do powszechnego wykorzystania są wysokie nakłady inwestycyjne – wykonanie otworów wiertniczych oraz szczelinowanie górotworu, konieczne do uzyskania zadawalającej wydajności energetycznej ujęć ciepła. Te nakłady można obniżyć przy okazji poszukiwania i udostępniania gazu łupkowego w Polsce przez zainicjowanie przekształcania głębokich otworów „gazowych” (>3,5 km) po szczelinowaniu – „suchych” oraz wyeksploatowanych, w produkcyjne i chłonne otwory geotermalne.

Jeden km³ szczelinowanych łupków zawiera gaz niskokaloryczny (14,5 MJ/m³) w wydobywalnej ilości około ~1,5 do ~3,0 Gm³, co w przeliczeniu odpowiada od ~22 PJ (PJ = Peta Joule = 10¹⁵ Joule) do ~44 PJ energii. Natomiast jeden km³ skał na głębokości od około 3,5 km do około 4,5 km zawiera 2,6 PJ/K ciepła. To oznacza, że przy spadku temperatury o 2°C zostanie wydzielone 5,2 PJ energii cieplnej.

Pobieranie ciepła z łupków gazonośnych zwiększy opłacalność operacji wydobywczych gazu oraz spowoduje rozwój geotermii w Polsce. Transfer ciepła skał z głębi otworu na powierzchnię będzie się odbywał za pośrednictwem wód technologicznych, zatlaczanych po oddaniu ciepła z powrotem do górotworu, tak jak w systemie pozyskiwania ciepła w technologii gorących skał suchych (HDR).

Potencjalne zasoby gazu łupkowego w Polsce znajdują się w trzech paleozoicznych basenach geologicznych – bałtyckim, podlaskim i lubelskim (jak na rys. 1 według DOE-EIA 2011a) o powierzchni/średniej miąższości, odpowiednio: 22 911 km²/96 m; 3432 km²/90,6 m oraz 30 044 km²/69 m, na głębokości od kilkuset metrów do ponad 4 kilometrów. Zatem w najgłębszym – bałtyckim basenie łupkowym gazonośne łupki tworzą blok o objętości niemal 2200 km³ o średniej temperaturze sięgającej 90°C.

Słowa kluczowe: gaz łupkowy, geotermika, szczelinowanie, zasoby wydobywalne, technologia

Shale Gas & Geothermal Energy

Abstract: Heat extraction from Hot Dry Rocks (HDR) is difficult and expensive due to costly prerequisite drilling and fracking. According to Kastei (2011), the cost of drilling and fracking reaches \$4,500 per kW of installed power.

In geothermal development on shale gas fields, these costs would be substantially reduced. The remaining costs would be adaptation of the well, installation of heat exchangers, and maintenance of hydraulic connections between the production and injection wells.

* Prof. dr hab., Pracownia Analiz Strukturalnych i Kartografii Geologicznej, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków; e-mail: so@igf.edu.pl

According to available data (Michalczyk 2011), shale gas possesses low calorific power of approx. 14.5 MJ/m³; on the other hand, one cubic kilometer of fractured shale may provide ~1.5 to ~3.0 bln. m³ of low calorific gas with a total energy content of ~22 PJ (PJ = Peta Joule = 10¹⁵ Joule) to ~44PJ. One km³ of rock at depth of from approx. 3.5 km to 4.5 km within the shale gas exploitation zone contains 2.6 PJ/K of heat. This indicates a release of 5.2 PJ of heat energy at 2°C drop in temperature; the natural geothermic heat flux within the 50 to 75 mW/m² range typical in Poland (Szewczyk, Gientka 2009) was ignored in this assessment.

Extracting heat from within the gas-bearing shales may contribute significantly to the Polish economy and may help in geothermal development. Heat will be transferred from downhole rocks by hot water to the surface heat exchangers, and the water will be injected back into the fractured rocks similarly to the traditional HDR system technology.

The prospective Polish resources of gas shales are in three geological basins: the Baltic, Podlasie, and Lublin Basins (see Fig. 1 after DOE-EIA 2011a) of an areal extent/average thickness (in meters) as follows: 22,911 km²/96 m; 3,432 km²/90.6 m and 30,044 km² /69 m respectively. Depth varies from several hundred to 4,000 meters. Thus, the deepest basin shales constitute a volume of almost 2,200 km³, with an average temperature reaching up to 90°C.

Key words: Shale gas, geothermal, fracking, recoverable reserves, technology

Wprowadzenie

Pobieranie energii cieplnej ze skał suchych jest kosztowne, ze względu na konieczność prowadzenia głębokich otworów wiertniczych oraz szczelinowania masywu skalnego (Kastein 2011). Te koszty, normalnie sięgające 4500 USD za kW zainstalowanej mocy, zostaną istotnie zredukowane w przypadku wykorzystywania uprzednio szczelinowanych otworów gazowych. Pozostaną tylko koszty technicznej adaptacji istniejących otworów gazowych do potrzeb geotermii, koszt adaptacji połączenia otworów chłonnych z produkcyjnymi pod ziemią oraz koszty powierzchniowych wymienników ciepła i urządzeń do zatłaczania schłodzonej wody. Przy wcześniejszym przyjęciu koncepcji skojarzonej eksploatacji gazu i ciepła, rozwiercanie i szczelinowanie górotworu należy tak planować, żeby zapewnić powstanie hydraulicznego połączenia na wskroś uszczelinionych skał otaczających sąsiadujące odcinki poziome odwiertów.

W ilustrowanym raporcie dla Kongresu Stanów Zjednoczonych Ameryki w sprawie gazu łupkowego (Andrews 2009) są analizowane możliwe zagrożenia wód, środowiska, reżimu prawnego oraz bezpieczeństwa ogólnego na tle stosowanych technologii udostępnienia i eksploatacji. Z raportu wynika, że ekstrakcja gazu z łupków jest technologicznie ukierunkowana na ograniczanie i eliminowanie zagrożeń. Skały łupkowe są szczelinowane w kilku fazach dla uzyskania możliwie wysokiego stopnia wydobycia uwięzionego gazu. Objętość jednorazowo wtłaczanej wody do szczelinowanego otworu jest rzędu 20 tysięcy metrów sześciennych; propagacja szczelin sięga stropu i spągu skał łupkowych, a dopływ gazu w ilości kilku tysięcy metrów sześciennych dziennie, może trwać od 20 do 40 lat (engtechmag.files 2011).

Jak wynika z dostępnych danych, przy założeniu, że kaloryczność gazu łupkowego wynosi około 14,5 MJ/m³ (Michalczyk 2011), z jednego km³ łupków gazonośnych po szczelinowaniu można uzyskać ~1,5 do ~3,0 Gm³ niskokalorycznego gazu o zawartości energii równej ~22 PJ (PJ = Peta Joule = 10¹⁵ Jouli) do ~44 PJ. Natomiast z jednego km³ skał na głębokości około 3,5 do 4,5 km w strefie eksploatacyjnego otworu „łupkowego” można, przy obniżaniu temperatury naturalnej o 1°C uzyskać 2,6 PJ energii cieplnej, a przy spadku o 2°C byłoby to aż 5,2 PJ. W tym oszacowaniu nie jest uwzględniony podtrzymujący

temperaturę, a zatem i zasoby ciepła w skałach, udział naturalnego strumienia ciepła z głębi Ziemi, którego wielkość w rozpatrywanym obszarze Polski NE jest rzędu 5 do 75 mW/m² (Szewczyk, Gientka 2009). Wykorzystanie termiki gazonośnych „suchych skał” przy okazji eksploracji i eksploatacji gazu z łupków, może więc być racjonalnym rozwiązaniem ekonomicznym i technologicznym. Skały będą schładzane przez wodę technologiczną przetłaczaną przez odgazowany górotwór, a ciepło tej wody na powierzchni terenu będzie utylizowane za pomocą wymienników ciepła, jak w tradycyjnym systemie geotermalnym.

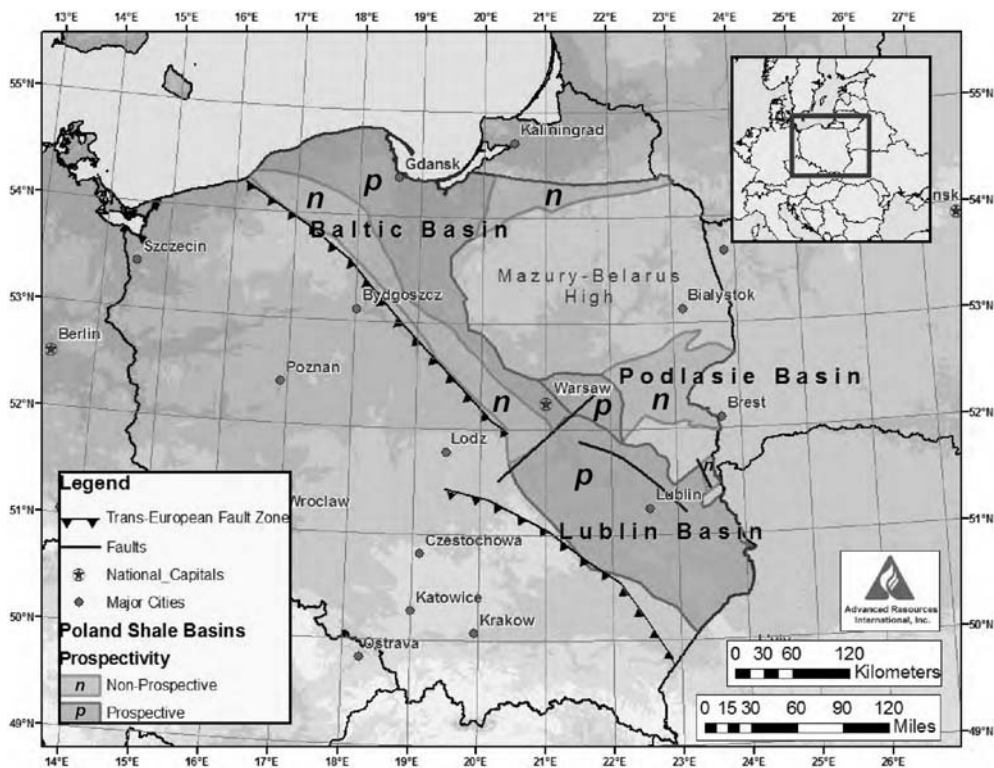
1. Gaz łupkowy – zasoby, eksploatacja, koszty

Technika udostępniania gazu ze złóż niekonwencjonalnych, zawartego w suchych, nieprzepuszczalnych łupkach jest oparta na wykonywaniu z jednego otworu pionowego kilku otworów kierunkowych o poziomym zasięgu do trzech kilometrów i wykorzystaniu ich do hydraulicznego szczelinowania serii złożowej. Uzyskuje się w ten sposób sprawność wydobywania w zakresie od 20 do 30% zawartości gazu w zależności od składu mineralnego i mechanicznych właściwości łupków. Wydajność 35% jest możliwa w wyjątkowo korzystnych warunkach, a 15% w warunkach skrajnie niekorzystnych – niższa jest nieopłacalna. Ten system wiertniczych otworów kierunkowych w warstwie łupku gazonośnego można wykorzystać także do odbioru naturalnego ciepła ze szczelinowanych skał, za pomocą przetłaczanej wody w układzie zamkniętym.

Zgodnie z wymogami technologii eksploatacji gazu z łupków, szczelinowanie górotworu z otworów kierunkowych stanie się powszechną metodą udostępniania gazu, a liczba otworów poziomych ze szczelinowaniem będzie wzrastać stosownie do postępów eksploatacji. Wykonywanie otworów poziomych i szczelinowanie górotworu są zabiegami najbardziej kosztownymi w całym procesie udostępniania i eksploatacji gazu uwięzionego w łupkach. Dlatego, w celu obniżki kosztów eksploatacyjnych, należy dążyć do ich dodatkowego wykorzystania dla celów geotermii.

Stan wstępnego rozpoznania zasobów gazu łupkowego w wybranych basenach, poza terytorium USA, jest ujęty w raporcie DOE-EIA (2011a). W raporcie są zawarte oceny 14 regionów świata wybranych na podstawie zanalizowania około 70 formacji geologicznych w 48 zagłębiach gazonośnych w 32 krajach.

W Polsce według DOE-EIA (2011b) wydobyto w 2010 r. około 6 Gm³ gazu, przy zużyciu około 16,4 Gm³; zatem 64% zużycia pokryto gazem z importu. Stwierdzone zasoby gazu ziemnego według Radler (2010) z Oil and Gas Journal wynosiły w 2009 r. w Polsce 164,24 Gm³. Ocenione wydobywalne zasoby gazu zawartego w łupkach wynoszą według raportu DOE-EIA (2011a) 5295,2 Gm³. Według różnych późniejszych doniesień, ta wstępnie oszacowana wartość ulega korektom pomniejszającym, ale rząd wielkości zasobów pozostaje na wysokim poziomie. Według PGI-PIB (2012) zasoby wydobywalne gazu ziemnego w formacjach Basenu Bałtycko-Podlasko-Lubelskiego (rys. 1) są zawarte między 1920 i 768 Gm³, a według ocen z minimalizacją ryzyka, zasoby prawdopodobne określono tylko na 346 Gm³. Raport był przygotowany w PIG-PIB we współpracy z ekspertami z USA na podstawie analizy danych geologicznych z lat 1950–1990. Z kolei według DOE-EIA (2011a) ogólna wielkość zasobów wydobywalnych i niewydobywalnych (*Risked Gas in Place*) wynosi w Polsce 22 426 Gm³. Można przewidywać, że z tych zasobów, w miarę



Rys. 1. Główne zagłębienia z łupkami gazonośnymi w Polsce według DOE-EIA (2011a)
 Objasnienia: od góry – strefa uskoku transeuropejskiego (TESZ); uskoki, stolice państw;
 główne miasta; perspektywiczność zagłębienia łupkowych w Polsce: n – nie perspektywiczne,
 p – perspektywiczne
 Źródło: Advanced Resources International, Inc./EIA

Fig. 1. Major Shale Basins of Poland

dalszego rozwoju technik wydobycia, znacznie większa niż dotychczas część gazu zawartego w łupkach, bądź uwięzionego w porach skalnych stanie się wydobywalna.

Według DOE-EIA (2011a), zasoby i właściwości złóż gazu w dolnych partiach serii łupkowych w basenie Bałtycko-Podlasko-Lubelskim w Polsce są następujące. W zagłębieniu bałtyckim, w sylurskich łupkach landoweru o średniej miąższości produktywnej 96 m w przedziale 100 do 250 m, o perspektywicznej powierzchni 22 911 km² i średniej głębokości 3750 m (przy maksymalnej 5000 m), znajduje się 3,6529 Tm³ gazu wydobywalnego; w zagłębieniu lubelskim, w dolnosylurskich łupkach wenloku o średniej miąższości produktywnej 69 m w przedziale miąższości 100 do 340 m o perspektywicznej powierzchni 30 044 km² i średniej głębokości 306 m (przy maksymalnej 4100 m), znajduje się 1,246 Tm³ gazu wydobywalnego; w zagłębieniu podlaskim, w dolnosylurskich łupkach landoweru o miąższości produktywnej 90,5 m w przedziale miąższości 110 do 220 m o perspektywicznej powierzchni 3432 km² i średniej głębokości 2600 m, znajduje się 396 Gm³ gazu wydobywalnego. Dla geotermii najbardziej perspektywiczny jest gazonośny basen Bałtycki, o objętości bloku łupków gazonośnych wynoszącej prawie 2200 km³, o średniej temperaturze

rzędu 90°C (ekstrapolowane z mapy Szewczyka 2010). Z tych wartości kwestionowane są wielkości zasobów; inne parametry można przyjąć za wiarygodne, co jest istotne dla rozważań na temat perspektywiczności ujęć ciepła z suchych skał łupkowych w tych zagłębiach. Wydobywanie w tych zagłębiach gazu metodą szczelinowania będzie połączone z kosztownym rozwiercaniem górotworu i szczelinowaniem. Te kosztowne zabiegi, konieczne przy eksploatacji gazu łupkowego można będzie wykorzystać także dla potrzeb geotermalnej eksploatacji ciepła suchych skał.

2. Koszty pozyskiwania energii zawartej w gazie łupkowym

Koszty pozyskiwania gazu zawartego w łupkach na dużej głębokości są zależne od warunków geologicznych, stanu infrastruktury oraz wielu czynników subiektywnych od technologii, organizacji pracy i aparatury – po sprawy społeczno-polityczne. Są już dostępne materiały porównawcze z różnych krajów oraz pierwsze doświadczenia z terenu Polski.

Poza wspomnianym raportem DOE-EIA (2011a) pojawiły się analityczne opracowania geologiczne i prawno-ekonomiczne. Poprawa (2010) opublikował analityczny artykuł informacyjno-porównawczy; analizy i informacje gospodarcze, prawne i ekonomiczne pojawiają się zarówno w publikacjach prasowych, jak i w internecie (http://biznes.gazetaprawna.pl/artykuly/600504,rozpoczely_sie_poszukiwania_gazu_lupkowego_w_woj_kujawsko_pomorskim.html (z 6 marca 2012, 20:25),

<http://www.money.pl/gospodarka/wiadomosci/artukul/zasoby;gazu;lupkowego;pgnig;ok;900;mld;m;szesciennych,111,0,971119.html>,

<http://hoga.pl/lifestyle/dzis-pierwszy-odwiert-pgnig-w-poszukiwaniu-gazu-lupkowego-w-lubyczy-krolewskiej/>).

Według przedstawiciela PGNiG (2012), ich 15 koncesji poszukiwawczych obejmuje około 900 Gm³ optymistycznie szacowanych zasobów wydobywalnego gazu łupkowego. Odwierty sięgają do głębokości około 4,5 tysiąca metrów. W 2014 r. jest zamierzone wydobyć gaz z jednego z odwiertów z początkową intensywnością 200 m³/min, a docelowo 40–60 m³/min, czyli 57 600 do 86 400 m³ na dobę. Gaz ten ma dobre parametry energetyczne i chemiczne – niską zawartość azotu i brak związków siarki, natomiast z przeprowadzonych analiz wynika obecność węglowodorów ciężkich.

Eksploatacja gazu łupkowego staje się opłacalna przy wykonaniu co najmniej dziesięciu odwiertów kierunkowych o wydajności 2500 m³ gazu na dobę z każdego. Koszt jednego odwiertu badawczego wynosi około 10 mln dolarów; średnio jeden odwiert poszukiwawczy na osiem bywa pozytywny. Zweryfikowane pomniejszająco w PIG-PIB oszacowania amerykańskie nie wpływają na zmniejszenie intensywności kosztownych prac poszukiwawczych i udostępniających, ale spodziewane efekty ekonomiczne tych prac mogą być też niższe od przewidywanych. Dlatego właśnie należałoby przystępować do prac wiertniczych z założeniem, że część otworów wiertniczych można będzie wykorzystać jako źródła energii cieplnej dla różnych potrzeb lokalnych, ewentualnie także do produkcji prądu elektrycznego (<http://biznes.gazetaprawna.pl/>). Z oszacowań firmy Schlumberger wynika, że odwierty w Polsce z powodu wyższej gęstości zaludnienia (oraz większej głębokości zalegania

warstw gazonośnych) są bardziej kosztowne niż w Stanach Zjednoczonych – poziomy odwiert o długości 2000 m w USA kosztuje średnio 3,9 mln USD, a w Polsce 11 mln USD na głębokości 3600 m (<http://www.bankier.pl/>).

Ilość energii zawartej w wydobywalnym gazie w złożu w warstwach łupkowych jest porównywalna z ilością wydobywalnej energii cieplnej z tej samej objętości skał. Jednak energia termiczna skał może być pobierana zarówno z gazowych otworów produktywnych, wyeksploatowanych, jak i oraz z otworów poszukiwawczych nieproduktywnych. Zatem pobieranie ciepła wpłynęłoby pośrednio na obniżenie kosztów poszukiwania i udostępniania gazu łupkowego na danym obszarze.

Zabiegi technologiczne stosowane przy udostępnianiu gazu z łupków są kosztowne, ale konieczne i opłacalne. Należy jednak dążyć do obniżenia tych kosztów przez kompleksowe wykorzystanie szczelinowanych otworów gazowych także dla potrzeb geotermii.

3. Możliwość poboru gazu i ciepła w jednym procesie penetracji łupków

In our efforts to estimate the magnitude of the resource, we may have neglected a viable area that is now being developed by the petroleum industry and specifically by the hydrofracturing process of developing tight gas formations

Cutright B.L. (2011)

Kompleksowe wykorzystywanie szczelinowanych otworów formacji łupkowych może mieć korzystny wpływ na liczne niechętne opinie dotyczące tego niekonwencjonalnego źródła gazu. Jednym, choć nie jedynym argumentem w dyskredytowaniu idei wykorzystania gazu z łupków jest przekonanie, że eksploatacja tego gazu będzie się odbywała kosztem lub zamiast geotermii. W upowszechnianych opiniach gaz z łupków jest widziany jako zło, a co najmniej konkurencja dla źródła czystej, ekologicznej energii cieplnej – geotermii. Są i głosy pozytywne, giną jednak w dominujących publikowanych na internetowych „blogach” i powtarzanych na różnych forach. Wydaje się, że atmosfera swobodnego wyrażania opinii, w większości anonimowych, powoduje trudno odwracalne szkody w szeroko rozumianej mentalności społecznej, rzutującej w efekcie na koszty i trudności cywilizowania społeczeństwa, a wtórnie – realizowania inwestycji, koniecznych wobec zmieniającej się rzeczywistości. Równocześnie, na „blogowym” forum wypowiedzi rzeczowe są kwalifikowane jako SPAM.

W planowaniu inwestycji należy takie opinie brać pod uwagę, jako czynniki rzutujące na koszty i utrudnienia w realizacji przedsięwzięć. Zależności między nakładami finansowymi i wykonanymi pracami a rezultatami uzyskanymi w eksploatacji gazu z niekonwencjonalnego źródła mieszczą się w akceptowalnym przedziale ryzyka, wynikającego z czynników naturalnych w poszukiwaniach węglowodorów w nowo eksplorowanych obszarach. Czynniki społeczne mogą jednak skutecznie wpływać na trudności i opóźnienia w realizacji inwestycji oraz realnie zwiększać poziom ryzyka finansowego.

W warunkach naturalnych eksploatacja gazu z łupków jest opłacalna, gdy na każdy głęboki nawiercający złożę otwór wiertniczy ze szczelinowaniem, czyli pozytywny, przypada nie więcej niż 5–7 otworów „nietrafionych”, czyli negatywnych, również głębokich,

jak ten pozytywny. Otwory negatywne zwiększają jednak w każdym przypadku ogólne koszty eksploatacji gazu z łupków. Dlatego możliwość wykorzystania tych otworów do uzyskiwania energii cieplnej będzie ekonomicznie korzystna dla posiadaczy koncesji poszukiwawczych gazu i dla rozwoju geotermii.

Przy poborze ciepła z suchych skał wykorzystuje się ich naturalny system spękań oraz – tak jak przy poborze gazu – sztucznie zwiększa się przepuszczalność za pomocą szczelinowania hydraulicznego w otworach produkcyjnych. Szczeliny pozostają rozwarne, bo ich ścianki są rozdzielane przez drobne ziarna piasku kwarcowego lub syntetyczne kuleczki, iniekowane w szczeliny wraz z wodą, podobnie jak to się odbywa przy eksploatacji gazu z formacji łupkowych. Niektóre otwory „gazowe” będą wykorzystywane w geotermii jako otwory chłonne, niezbędne do powrotnego zatłaczania wody dostarczającej ciepło z głębi górotworu do wymienników na powierzchni. Krażenie wody w systemie poboru ciepła z uszczelinionych skał jest wymuszone lub w korzystnych warunkach może być grawitacyjne z wykorzystaniem różnicy masy wód o różnej temperaturze. Odbiór ciepła odbywa się w wymiennikach na powierzchni. Woda będąca transmiterem ciepła między skałami a wymiennikiem, przepływa między otworem produkcyjnym a chłonnym w zamkniętym układzie, bez kontaktowania się z powietrzem atmosferycznym i wodami powierzchniowymi, zatem nie ulega zanieczyszczeniu.

W objętości 1 km³ skał łupkowych (o średniej pojemności cieplnej 2680 kJ/m³·K) jest zawarta energia cieplna, którą można ekstrahować za pomocą wody przepływającej w obiegu zamkniętym przez górotwór i przez wymienniki ciepła na powierzchni terenu. Spadek temperatury 1 km³ bloku skał o 1°C równałby się wydatkowi energii równej 2,68 PJ (2,68 · 10¹⁵ Jouli). Przy odbiorze ciepła, wyrażającym się w spadku o 10°C temperatury wody przepływającej z prędkością 100 dcm³/s przez wymienniki ciepła można uzyskiwać moc 1 MW_t, czyli 4,18 MJ energii cieplnej w każdej sekundzie; w ciągu roku można zatem uzyskać z jednego km³ łupków 131 TJ energii ciepła, aby po 20 latach obniżyć temperaturę eksploatowanego bloku 1 km³ łupków o 1°C. W rzeczywistości temperatura bloku obniżałaby się wolniej z powodu nieustannego oddziaływania naturalnego strumienia ciepła wędrującego z głębi ku powierzchni Ziemi oraz dopływu ciepła z otaczających mas skalnych w procesie wyrównywania temperatury.

Idea kojarzenia eksploatacji węglowodorów zawartych w łupkach z eksploatacją ciepła skał była wielokrotnie publikowana. W Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej pojawiło się na ten temat kilka znaczących opracowań.

Cutright (2011) z Bureau of Economic Geology University of Texas, Austin przedstawił na konferencji „Geothermal Energy Utilization Associated with Oil & Gas Development” pracę pt. „The Transformation of Tight Shale Gas Reservoirs to Geothermal Energy Production” (w swobodnym tłumaczeniu: Przekształcenie nieprzepuszczalnych łupkowych zbiorników gazu w zakłady geotermalne). Podał w niej oparte na konkretnych przykładach dane liczbowe, zestawienia i porównania ekonomiczne oraz czytelne ilustracje. Interesujące są parametry eksploatowanych zbiorników utworzonych w skałach poddanych szczelinowaniu. Promień wyznaczony przez poziome otwory w formacji łupkowej o grubości od 20 do 200 m, osiąga 1 do 3 km, a powstały zbiornik szczelinowy ma objętość od kilku dziesiątych kilometra sześciennego do kilku kilometrów sześciennych. Wydobywalność gazu przy zastosowaniu metod szczelinowania jest zawarta w granicach 1/5 do 1/3 całkowitej zawartości węglowodorów w skale.

Objętość skał gazonośnych w Polsce, z których można pobierać ciepło została tu oszacowana na podstawie danych wyjściowych zawartych w raporcie DOE-EIA (2011a) w odniesieniu do trzech wyróżnionych zagłębi gazonośnych. W oszacowaniu przyjęto zawartość ciepła w przedziale jednego K wybranej objętości górotworu; długotrwałość odbioru ciepła oszacowano przyjmując pobór w zakresie spadku temperatury nośnika, to jest wody przetłaczanej przez szczelinowane skały, o 10°C ($dt\downarrow$) w wymienniku ciepła. Średnie temperatury skał przyjęto przy założeniu wzrostu temperatury z głębokością o $2^{\circ}\text{C}/\text{km}$ i dodatkiem $\sim 9^{\circ}\text{C}$ średniej temperatury rocznej na głębokości około 20 m. Wszystkie trzy zagłębia znajdują się w „chłodnej”, NE połowie Polski, gdzie na głębokości 2000 m występują temperatury rzędu 55 do 60°C (por. Szewczyk 2010).

1. W zagłębiu bałtyckim, w sylurskich łupkach landoweru o średniej miąższości produktywnej 96 m, powierzchni 22 911 km^2 , objętości 2199,5 km^3 i średniej głębokości 3750 m, znajduje się 5,9 EJ (trylionów Jouli) wydobywalnego ciepła o średniej temperaturze rzędu $\sim 84^{\circ}\text{C}$ i $dt\downarrow = 1^{\circ}\text{C}$.
2. W zagłębiu lubelskim, w dolnosylurskich łupkach wenloku o średniej miąższości produktywnej 69 m, o perspektywicznej powierzchni 30 044 km^2 , objętości 2073 km^3 i średniej głębokości 3049 m, znajduje się 5,6 EJ wydobywalnego ciepła o średniej temperaturze $\sim 70^{\circ}\text{C}$ i $dt\downarrow = 1^{\circ}\text{C}$.
3. W zagłębiu podlaskim, w dolnosylurskich łupkach landoweru o miąższości produktywnej 90,5 m o perspektywicznej powierzchni 3432 km^2 , objętości 310,1 km^3 i średniej głębokości 2604 m, znajduje się 831 PJ wydobywalnego ciepła o średniej temperaturze $\sim 60^{\circ}\text{C}$ i $dt\downarrow = 1^{\circ}\text{C}$.

4. Wydajność pozyskiwania energii cieplnej zawartej w górotworze

Łączna objętość łupków gazonośnych wynosi 4582,6 km^3 . Z prostych przeliczeń wynika, że przy obniżeniu o 1°C temperatury każdego pomyślanego bloku skalnego o objętości 1 km^3 , będzie wyzwolana energia termiczna w ilości od 700 do 750 GWh, to jest 2,5 do 2,7 PJ, zależnie od pojemności cieplnej skał.

Według Bruce L. Cutright'a (2011) z Bureau of Economic Geology University of Texas, w Austin, w przygotowanym zawczasu programie przekształcania otworów gazowych w geotermalne można zaoszczędzić na nakładach inwestycyjnych od 5 do 9 milionów USD na każdym ujęciu ciepła suchych skał, udostępniając równocześnie ekologiczne źródło energii cieplnej przez kilkadziesiąt lat (dosłownie: *With forethought and planning, existing gas production wells can transition to geothermal energy production wells, saving an initial investment of \$5 million to \$9 million dollars, and providing a sustainable energy resource for at least 30 years into the future*).

Szczególnym przypadkiem – możliwym do zrealizowania w niektórych obszarach przy głębokich otworach wiertniczych – może być wykorzystanie ciepła suchych skał do generowania prądu elektrycznego za pomocą parowych agregatów turbinowych w systemie bezpośrednim lub binarnym, pracujących z wodą w zamkniętym obiegu nad- i podziemnym. Szacuje się, że koszty instalacji opartej na ciepłe suchych skał zostaną stopniowo obniżone z obecnych 4500 USD do ekstrapolowanej wartości około 1000 USD za kW mocy w roku 2030 (Kastein 2011). Na Niżu Polskim brak jest znaczących anomalii termicznych.

Izoterma 150°C występuje na głębokościach >5500 m. Ciepło pobierane z tych głębokości można by wykorzystać tylko do zasilania turbin pracujących w systemie binarnym w cyklu Rankina; znaczenie ekonomiczne takich ujęć przy obecnie osiągalnej sprawności byłoby znikome.

Podsumowanie

Poszukiwania i eksploatacja gazu łupkowego występującego w Polsce na dużych głębokościach są szansą rozwoju geotermii.

Ilości energii cieplnej w danym obszarze poszukiwawczym są większe niż ilości energii zawartej w wydobywanym tam gazie; wydobywalność tej energii może być w określonym czasie zintensyfikowana do poziomu porównywalnego z wartością energetyczną wydobycia gazu, ze względu na stałe zasilanie zasobów przez naturalny strumień ciepła z głębi Ziemi.

W planach badań, eksploracji i eksploatacji gazu z łupków należy z wyprzedzeniem uwzględnić hybrydowe systemy wydobycia gazu i energii termicznej, a w planach zagospodarowania i eksploatacji ciepła przewidzieć konieczność prowadzenia akcji promocji ciepła z Ziemi i akwizycji potencjalnych odbiorców ciepła – tj. lokalnych władz, zakładów chemicznych oraz ośrodków użyteczności publicznej.

Literatura

- Andrews 2009 – Andrews A. (koordynator), Folger P., Humpries M., Copeland C., Tiemann M., Leltz R., Brougher C., 2009 – Unconventional Gas Shales: Development, Technology, and Policy Issues; Congressional Research Service 7-5700; www.crs.gov/R40894,
lub: <http://www.fas.org/sgp/crs/misc/R40894.pdf>
- Cutright B.L., 2011 – The Transformation of Tight Shale Gas Reservoirs to Geothermal Energy Production: Bureau of Economic Geology University of Texas, Austin Texas
http://smu.edu/geothermal/Oil&Gas/2011/Cutright_TightShaleGasReservoirsGeothermal_2011.pdf
- DOE-EIA 2011a – World Shale Gas Resources: An Initial Assessment of 14 Regions Outside the United States; U.S. Department of Energy – Energy Information Administration; pełny raport:
<http://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/pdf/fullreport.pdf>
- DOE-EIA 2011b – Dry production and consumption: EIA, International Energy Statistics;
<http://www.platts.com/IM.Platts.Content/ProductsServices/Products/energyeconomist.pdf>
- engtechmag.files 2011: engtechmag.files.wordpress.com/2011/11/shale-gas.jpg
- Kastein O., 2011 – Hot Dry Rock Energy: Expensive Now, Future Wow; TOPIC “Geothermal Energy” on Mar 27, 2011; CEST; http://www.enerlix.com/environmental-technology/article_3682.htm
- Michalczyk L., 2011 – Polska a Gazprom w długofalowej koncepcji polskiego bezpieczeństwa energetycznego; Polityka Energetyczna t. 14, z. 1, Kraków, s. 91–105.
oraz: www.min-pan.krakow.pl/Wydawnictwa/PE141/05-michalczyk.pdf
- PGI 2012: Pierwszy raport: Ocena zasobów wydobywalnych gazu ziemnego i ropy naftowej w formacjach łupkowych dolnego paleozoiku w Polsce (Basen bałtycko-podlasko-lubelski);
http://www.pgi.gov.pl/en/dokumenty-in/cat_view/294-aktualnoci-2012/297-zasoby-gazu.html
- PGNIG 2012: Prezentacje (<http://www.pgnig.pl/pgnig/gaz-z-lupkow>).
- Poprawa P., 2010 – System węglowodorowy z gazem ziemnym w łupkach – północnoamerykańskie doświadczenia i europejskie perspektywy [Shale gas hydrocarbon system – North American Experience and European Potential]. Przegląd Geologiczny 58(3), s. 216–225.

Radler M., 2010 – Total reserves, production climb on mixed results; Proved gas reserves; Oil and Gas Journal, Dec., 6, 2010, s. 46–49; [<http://www.ogj.com/articles/print/volume-108/issue-46/special-report/total-reserves-production-climb-on-mixed.html>].

Szewczyk J., 2010 – Mapa temperatury na głębokości 2000 metrów. [W:] Geofizyczne oraz hydrogeologiczne warunki pozyskiwania energii geotermicznej w Polsce. Przegląd Geologiczny 58(7), s. 566–573; [<http://www.pgi.gov.pl/pl/energia-geotermalna-lewe/3703-temperatura-ziemi>].

Szewczyk J., Gientka D., 2009 – Mapa gęstości ziemskiego strumienia ciepłego dla obszaru Polski; www.pig.gov.pl

http://biznes.gazetaprawna.pl/artykuly/600504,rozpoczely_sie_poszukiwania_gazu_lupkowego_w_woj_kujawsko_pomorskim.html

<http://www.bankier.pl/wiadomosc/Amerykianie-parza-sie-polskim-gazem-z-lupkow-2508671.html>

<http://www.money.pl/gospodarka/wiadomosci/artykul/zasoby:gazu;lupkowego;pgnig;ok;900;mld;m;szesciennych,111,0,971119.html>

<http://hoga.pl/lifestyle/dzis-pierwszy-odwiert-pgnig-w-poszukiwaniu-gazu-lupkowego-w-lubyczy-krolewskiej/>