

## Analiza możliwości wykorzystania wód podziemnych na potrzeby eksploatacji gazu z formacji łupkowych na obszarze objętym pracami poszukiwawczo-rozpoznawczymi

Józef Mikołajków<sup>1</sup>, Magdalena Nidental<sup>1</sup>, Małgorzata Woźnicka<sup>1</sup>

**Analysis of the possibility of using groundwater for the gas exploitation from shale formations in the area covered by the exploration work.** Prz. Geol., 63: 944–949.

*Abstract:* Exploitation of unconventional gas requires the use of hydraulic fracturing in horizontal wells' network, which allows the penetration of deposits over a large area. Despite the research to find innovative solutions, presently hydraulic fracturing is carried out using a fracturing fluid prepared on basis of water. The use of hydraulic fracturing on exploitation's scale of unconventional gas (several horizontal wells at a single location) requires ensuring access to a large amount of water in a relatively short period of time. Analysis of possibilities of using of groundwater in areas of exploration and exploratory work is necessary at an early stage investment planning and should be one of the key factors determining the possibility of exploitation in the area. In this paper was carried out a variant analysis of the availability of groundwater resources in terms of their use for the purpose of exploitation.

**Keywords:** shale gas, hydraulic fracturing, groundwater resources

Eksploracja gazu z formacji łupkowych może być impulsem rozwoju gospodarczego w regionach, lecz powinna być prowadzona w sposób zrównoważony, nie powodując pogorszenia stanu środowiska. Ze względu na specyfikę prac związanych z eksploatacją gazu z łupków środowisko wodne, a zwłaszcza wody podziemne, powinny być poddane szczegółowej analizie presji zarówno w aspekcie ilościowym, jak i jakościowym (Woźnicka & Mikołajków, 2013). Jednocześnie dostępność zasobów wodnych jest jednym z kluczowych elementów decydujących o możliwości prowadzenia eksploatacji. Szacuje się, że na potrzeby prowadzenia eksploatacji na obszarze o powierzchni 100 km<sup>2</sup> nastąpi zużycie ok. 900 tys. m<sup>3</sup> wody (Woźnicka, 2013). Istnieje wiele możliwości pozyskania tej ilości wody, przy czym, jak wskazuje dotychczasowa praktyka na etapie prac poszukiwawczo-rozpoznawczych, to wody podziemne są najczęściej wykorzystywane. Należy dążyć do dywersyfikacji źródeł zaopatrzenia w wodę na etapie eksploatacji, niemniej jednak uzasadniona jest analiza możliwości wykorzystania zasobów wód podziemnych na terenach, gdzie istnieje potencjalna możliwość prowadzenia w przyszłości eksploatacji gazu ze złóż niekonwencjonalnych (Reig i in., 2014).

### OBSZARY OBJĘTE PRACAMI POSZUKIWAWCZO-ROZPOZNAWCZYMI

Zgodnie z danymi ze stycznia 2015 r. w Polsce udzielono 53 koncesji na poszukiwanie i rozpoznawanie gazu ziemnego „shale gas” (www.lupki.mos.gov.pl). Od 2010 r. w ramach udzielonych koncesji wykonano 67 otworów rozpoznawczych, przy czym w 25 z nich przeprowadzono zabieg szczelinowania hydraulicznego (12 w otworach krzywionych/ poziomych i 13 w otworach pionowych) (http://lupki.mos.gov.pl/gaz-z-lupkow/stan-prac-w-polsce). Najwyższą intensywność prac poszukiwawczych odnotowano w 2012 r. Wówczas wykonano 24 otwory poszukiwawcze i przeprowadzono 8 zabiegów szczelinowania hydraulicznego (tab. 1).

W Polsce prace poszukiwawczo-rozpoznawcze obejmują przede wszystkim rejony położone na terenie województw: pomorskiego, kujawsko-pomorskiego, warmińsko-mazurskiego, mazowieckiego i lubelskiego w pasie występowania perspektywicznych łupków gazonośnych dolnego paleozoiku (Poprawa, 2010; Kiersnowski & Dyrka, 2013). Na tym obszarze w rejonach objętych koncesjami wykonano ponad 60 otworów rozpoznawczych (ryc. 1). W latach 2011–2012 prace prowadzono również na terenie województwa świętokrzyskiego i lubuskiego, gdzie wykonano 4 otwory poszukiwawcze. Obecnie zaniechano prac na terenie tych koncesji.

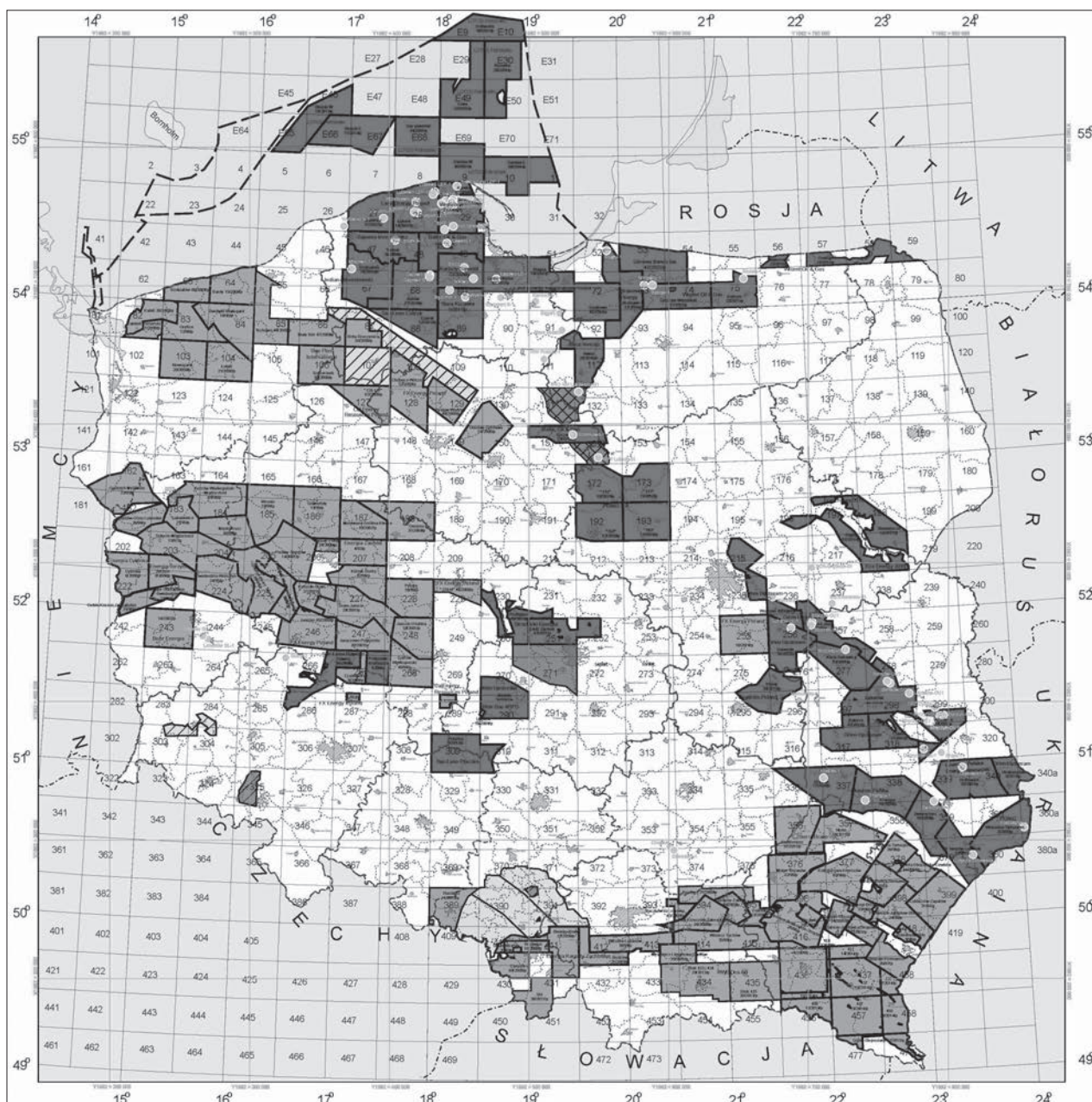
Wymienione powyżej województwa to w dużej części obszary zurbanizowane z rozwiniętym przemysłem, przy jednoczesnym dużym zróżnicowaniu zagospodarowania terenu. Znaczne tereny, szczególnie na obszarze woj. lubelskiego, są użytkowane rolniczo. Należy też zaznaczyć, że tylko na niewielkiej części rozpatrywanych obszarów funkcjonuje przemysł wydobywczy związany z węglowodorami. Znaczne części tych terenów mają duże walory

**Tab. 1.** Liczba otworów poszukiwawczych i zabiegów szczelinowania hydraulicznego wykonanych w latach 2010–2014

**Table 1.** The number of exploration wells and hydraulic fracturing performed in 2010–2014

Rok Year	Liczba wykonanych otworów Number of wells	Liczba otworów z wykonanym zabiegiem szczelinowania hydraulicznego Number of hydraulic fracturing performed in wells
2010	3	2
2011	12	7
2012	24	8
2013	14	4
2014	14	4
<b>Razem</b>	<b>67</b>	<b>25</b>

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; jozef.mikolajkow@pgi.gov.pl, magdalena.nidental@pgi.gov.pl, malgorzata.woznicka@pgi.gov.pl.



**Ryc. 1.** Mapa otworów rozpoznawczych za gazem z łupków na tle obecnie obowiązujących koncesji na poszukiwanie gazu ziemnego „shale gas” (kolor ciemnoszary) (źródło: <http://lupki.mos.gov.pl/gaz-z-lupkow/stan-prac-w-polsce>)

**Fig. 1.** The map of shale gas exploration wells on the background of the current licenses for the shale gas exploration (black)

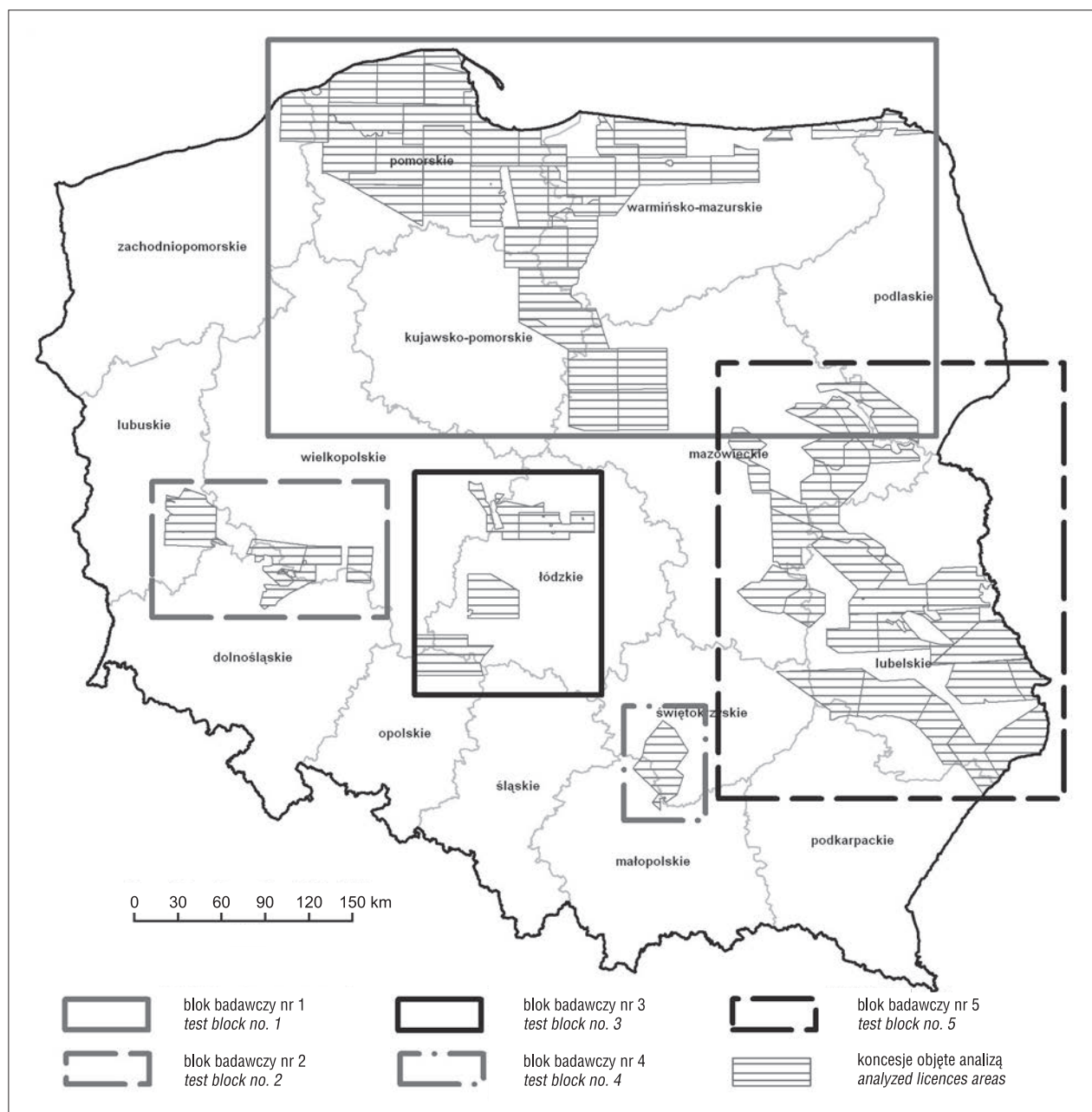
przyrodnicze (częściowo objęte ochroną prawną), co sprzyja rozwojowi turystyki. Prawidłowo prowadzona gospodarka wodna nie powinna być zachwiana perspektywą eksploatacji gazu ze złóż niekonwencjonalnych.

Do analizy możliwości zaopatrzenia w wodę na obszarze objętym pracami poszukiwawczymi gazu z łupków wzięto pod uwagę rejony obecnie wydanych koncesji oraz koncesji, w których ramach wykonano otwory rozpoznawcze za gazem z łupków, ale prace na tych koncesjach zakończono lub zaniechano. W sumie analizą objęto 66 obszarów koncesyjnych. Obszar badań podzielony na 5 bloków badawczych przedstawiono na rycinie 2. Granice bloków mają charakter poglądowy, gdyż wszystkie wyliczenia zastosowano do zasięgów obszarów bilansowych, w obrębie których znalazły się bloki koncesyjne (ryc. 3).

#### DOBĘPNE DO ZAGOSPODAROWANIA ZASOBY WÓD PODZIEMNYCH

Zgodnie z danymi na dzień 31.12.2014 r., uzyskanymi w ramach realizacji procedury standardowej państwowej służby hydrogeologicznej (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 listopada 2008 r. – Dz.U. z 2008 r. nr 225, poz. 1501, zał. 2) dokonano obliczenia sumarycznej ilości zasobów dyspozycyjnych i perspektywicznych zwykłych wód podziemnych w blokach badawczych, w których obrębie znajdują się analizowane koncesje. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 2.

W analizowanych blokach wielkość dostępnych do zagospodarowania zasobów zwykłych wód podziemnych (udokumentowanych dyspozycyjnych oraz perspekty-



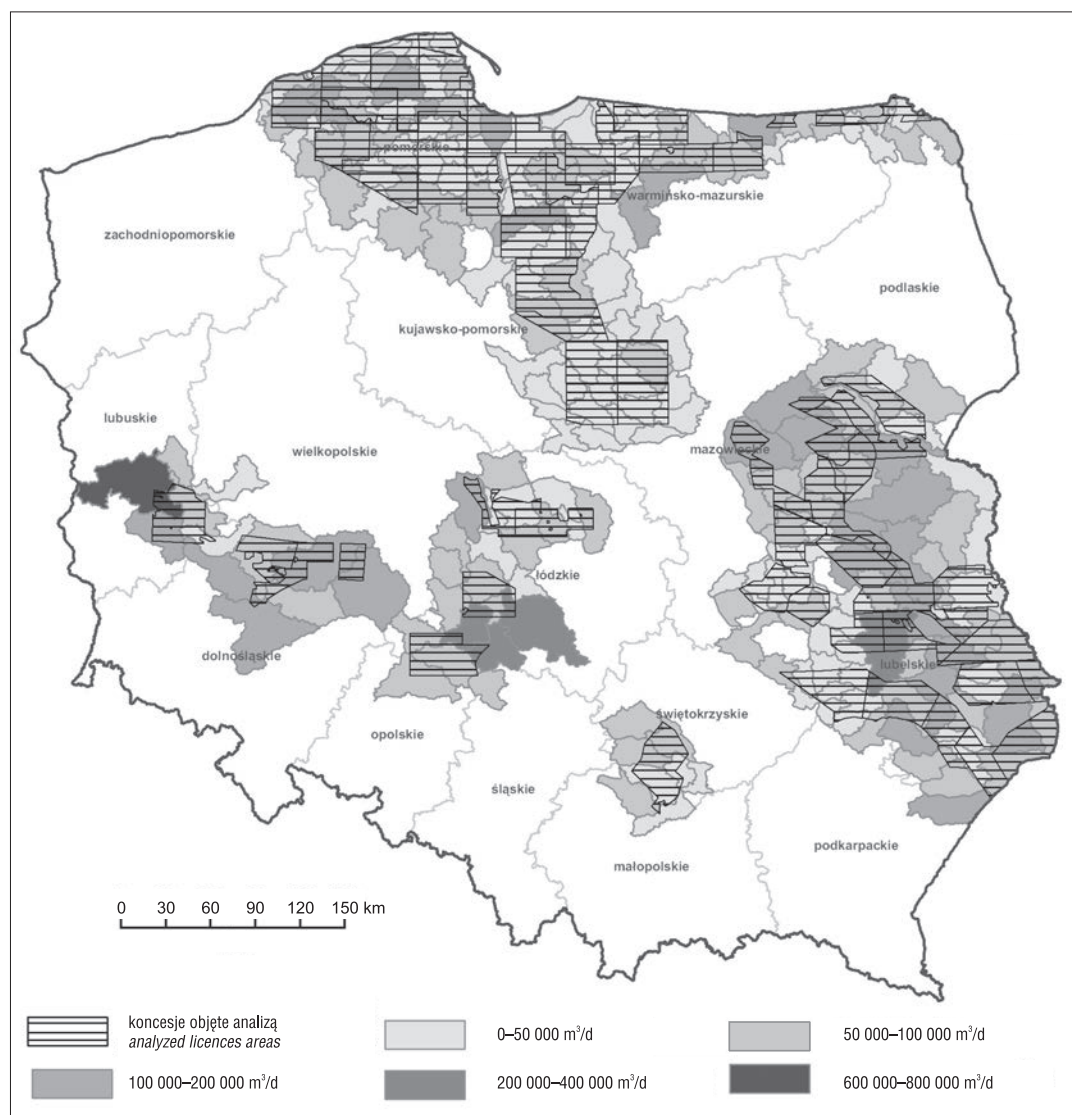
**Ryc. 2.** Obszary koncesyjne objęte badaniami z podziałem na bloki badawcze  
**Fig. 2.** The licenses areas covered of research with division into test blocks

wicznych na obszarach nieudokumentowanych) wynosi od 315 062,6 do 4 977 082,7 m<sup>3</sup>/d przy czym należy zauważyć, że rozpatrywane bloki mają różną powierzchnię, a wielkość zasobów dyspozycyjnych i perspektywicznych nie jest równomiernie rozmieszczona (ryc. 3). Roczny rejestrowany pobór wód podziemnych w 2012 r. do celów komunalnych i przemysłowych wynosi od 680 195,8 do 30 389,9 m<sup>3</sup>/d (tab. 2). W związku z tym obecny stopień wykorzystania zasobów dostępnych do zagospodarowania wynosi odpowiednio od 9,6 do 13,7%, co daje w skali każdego bloku badawczego bardzo wysokie rezerwy. W granicach analizowanych bloków ujęcia wód podziemnych są rozmieszczone w miarę równomiernie, chociaż z wyraźnym zagęszczeniem wokół większych aglomeracji miejskich i ośrodków przemysłowych (Warszawa, Trój-

miasto, Lublin). Na całym analizowanym obszarze znajduje się ponad 6400 ujęć gwarantujących dostęp do wód podziemnych dobrej jakości dla ludności oraz przemysłu i rolnictwa.

### MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA WÓD PODZIEMNYCH NA POTRZEBY EKSPLOATACJI GAZU Z ŁUPKÓW

Na podstawie informacji o aktualnym stopniu wykorzystania dostępnych do zagospodarowania zasobów wód podziemnych, danych dotyczących liczby udzielonych koncesji, na których w przyszłości może być prowadzona eksploatacja gazu z łupków oraz oszacowania potrzeb wodnych do zabiegu szczelinowania hydraulicznego doko-



**Ryc. 3.** Zasoby dyspozycyjne i perspektywiczne zwykłych wód podziemnych (m<sup>3</sup>/d) w obszarach bilansowych objętych zasięgiem występowania analizowanych koncesji

**Fig. 3.** Groundwater resources in the balance areas covered by the analyzed licenses areas

nano symulacji zapotrzebowania wody w różnych wariantach prac wydobywczych. Założono, że maksymalna liczba koncesji na wydobycie będzie odpowiadała liczbie koncesji wziętej do analizy w poszczególnych blokach badawczych, a średnie zużycie wody do przygotowania płynu szczelinującego to 14 tys. m<sup>3</sup> na 1-kilometrowy poziomy odcinek otworu (przy 15% ponownym wykorzystaniu płynu zwrotnego) (Konieczńska i in., 2011). W dokonanej symulacji założono również: zmienną liczbę wydanych koncesji w ramach bloku badawczego, średnią liczbę perspektywicznych obszarów eksploatacji w danej koncesji (przy średniej wielkości koncesji 1000 km<sup>2</sup>), średnią liczbę otworów poziomych oraz, że całość prac zostanie wykonana w ciągu jednego roku. Wyniki przeprowadzonej symulacji w każdym z analizowanych bloków przedstawiono w tabeli 3.

W przypadku bloku badawczego nr 1 przy wykonaniu 320 zabiegów szczelinowania hydraulicznego w otworach horyzontalnych o długości 1 km (wariant minimalny) ilość zużytej wody w ciągu roku będzie wynosić 4480 tys. m<sup>3</sup>, co stanowi około 1,8 % obecnego rocznego poboru wód

podziemnych (ryc. 4). Przy maksymalnym założeniu wykonania 2176 otworów o długości 1 km ilość zużytej wody wzrośnie prawie 7-krotnie, dając 30 464 tys. m<sup>3</sup> (ponad 12% obecnego rocznego poboru wód podziemnych). W skali całego roku w wariantcie minimalnym procent wykorzystania zasobów dyspozycyjnych i perspektywicznych zwykłych wód podziemnych wzrośnie zaledwie o 0,2%, a w wariantcie maksymalnym – o 1,7%.

Na obszarze objętym blokami badawczymi nr 2 i 3 założono wariant minimalny, w którego ramach zostanie wykonanych 128 zabiegów szczelinowania hydraulicznego (w otworach horyzontalnych o długości 1 km). Ilość zużytej wody na zabiegi szczelinowania hydraulicznego w ciągu roku będzie wówczas stanowił 1792 tys. m<sup>3</sup> (ok. 2,4% obecnego rocznego poboru wód podziemnych). Przy wariantcie maksymalnym ilość zużytej wody wzrośnie dwukrotnie, co może stanowić 5% obecnego rocznego poboru wód podziemnych. Przy takich założeniach procent wykorzystania zasobów dyspozycyjnych i perspektywicznych zwykłych wód podziemnych wzrośnie zaledwie o 0,6%.

**Tab. 2.** Stopień wykorzystania zasobów wód podziemnych dostępnych do zagospodarowania w poszczególnych blokach badawczych  
**Table 2.** The degree of using the groundwater resources available to development in the individual test blocks

Nr bloku badawczego Test block No.	Liczba koncesji Number of licenses	Sumaryczna ilość zasobów dyspozycyjnych i perspektywicznych Total amount of disposable and renewable resources [m <sup>3</sup> /d]	Roczny rejestrowany pobór zwykłych wód podziemnych Recorded annual abstraction of the groundwater [m <sup>3</sup> /d]	Stopień wykorzystania zasobów Degree of using the groundwater resources [%]
1	34	4 977 082,7	680 195,8	13,7
2	4	1 731 112,9	199 610,4	11,5
3	4	1 959 000,8	212 673,3	10,9
4	1	315 062,6	30 389,9	9,6
5	23	4 867 222,2	539 171,7	11,1

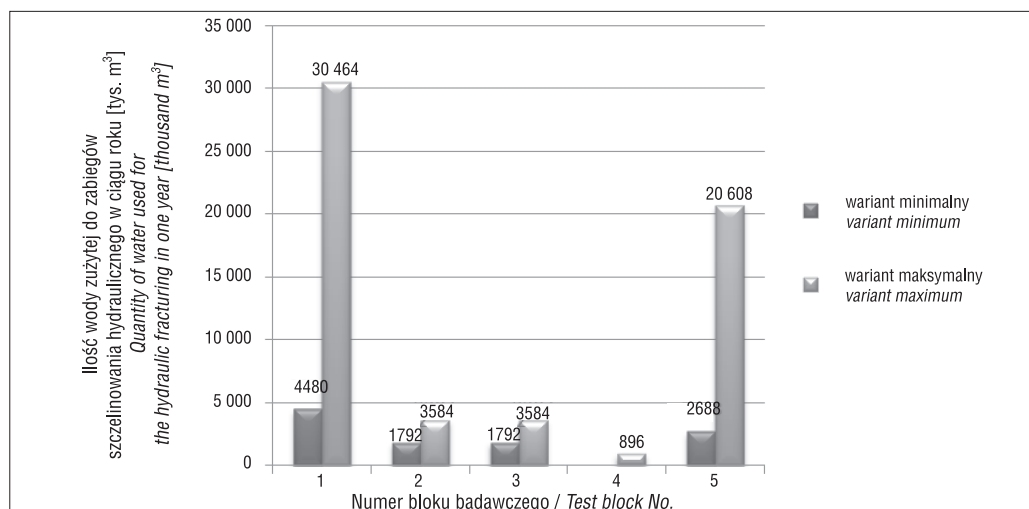
W bloku badawczym nr 4 do analizy wzięto pod uwagę wariant maksymalny, w którym w obrębie jednej koncesji zostanie wykonanych 64 pełnych zabiegów szczelinowania hydraulicznego (otwory horyzontalne o długości 1 km). W skali roku roczny pobór wód podziemnych może wzrosnąć nawet o 8%, przy czym procent wykorzystania zasobów dyspozycyjnych i perspektywicznych zwykłych wód podziemnych wzrośnie zaledwie o 0,7%.

Blok badawczy nr 5 przy wariacie minimalnym (192 pełne zabiegi szczelinowania hydraulicznego w otworach długości 1 km) zakłada zużycie wody w skali roku w wysokości 2688 tys. m<sup>3</sup>, co stanowi ok. 1,4% rocznego poboru wód podziemnych. Przy założeniach wariantu maksymalnego ilość zużytej wody podziemnej wzrośnie do 20 608 tys. m<sup>3</sup>. Wartość ta będzie stanowić ok. 10,5% rocznego poboru wód podziemnych. Wówczas procent wykorzystania zasobów dyspozycyjnych i perspektywicznych zwykłych wód podziemnych wzrośnie o 1,2%.

Należy jednak brać pod uwagę możliwe zwiększenie wysokości wykorzystania wód podziemnych do zabiegów szczelinowania hydraulicznego w przypadku wykonania przez inwestorów odwiertów dłuższych niż 1 km. Wówczas ilość zużytej wody może wzrosnąć dwu- lub trzykrotnie (tab. 3). W przypadku otworów poziomych o długości 2 km, przy wariantach maksymalnych, roczny pobór wód podziemnych może wzrosnąć od ponad 9% (blok badawczy nr 2 i 4) do ponad 24% w bloku badawczym nr 1, co daje

wzrost wykorzystania zasobów dyspozycyjnych i perspektywicznych zwykłych wód podziemnych odpowiednio od 1,0 do 3,4% w skali roku. Natomiast przy dokonaniu zabiegów szczelinowania w otworach poziomych o długości 3 km (wariant maksymalny) roczny pobór wód podziemnych może wzrosnąć od 13,8% do nawet 36,7% (blok badawczy nr 1). Wówczas eksploatacja zasobów możliwych do wykorzystania wzrośnie od 1,5% do ponad 5%. Należy jednak zaznaczyć, że wykonywanie dłuższych odwiertów poziomych niekoniecznie musi oznaczać większe zużycie wody w blokach badawczych, gdyż wraz ze stosowaniem dłuższych otworów horyzontalnych wzrasta też odległość między miejscami wierzeń (na obszarze o pow. 100 km<sup>2</sup> może ich być 2–3 zamiast założonych pierwotnie 4).

Na podstawie przeprowadzonej analizy w pięciu blokach badawczych widać, że nawet intensywne eksploatacja gazu z łupków nie powinna stanowić problemu zaopatrzenia w wodę z wykorzystaniem wód podziemnych w skali bloku. Jednak ze względu na nierównomierność rozłożenia zasobów wód w poszczególnych blokach, w przypadku lokalizacji obszarów eksploatacji w rejonach o niskich zasobach wodnych zagadnienie to powinno być szczegółowo rozpoznane, gdyż w obszarach bilansowych o niskich perspektywicznych i dyspozycyjnych zasobach (poniżej 50 000 m<sup>3</sup>/d, ryc. 3) potrzeby wodne w rejonach intensywnej eksploatacji gazu mogą stanowić znaczny procent obecnej eksploatacji i możliwych do wykorzystania



**Ryc. 4.** Symulacja ilości wody zużytej [tys. m<sup>3</sup>] do zabiegów szczelinowania hydraulicznego wykonanych na potrzeby eksploatacji niekonwencjonalnych złóż gazu ziemnego w blokach badawczych w ciągu jednego roku (wariant minimalny i maksymalny)

**Fig. 4.** Simulation of quantity of water used for the hydraulic fracturing operations [thousand m<sup>3</sup>] performed for exploitation of unconventional gas in the test blocks in one year (variant minimum and maximum)

**Tab. 3.** Symulacja ilości zużytej wody do zabiegów szczelinowania hydraulicznego wykonanych na potrzeby eksploatacji niekonwencjonalnych złóż gazu ziemnego w blokach badawczych w ciągu jednego roku  
**Table 3.** Simulation of quantity of water used for the hydraulic fracturing operations performed for exploitation of unconventional gas in the test blocks in one year

Nr bloku badawczego <i>Test block No.</i>	Liczba wydanych koncesji na wydobycie <i>Number of licences</i>	Liczba potencjalnych obszarów wydobywania o powierzchni 100 km <sup>2</sup> <i>Number of potential extraction areas with an area of 100 km<sup>2</sup></i>	Liczba otworów na pojedynczej lokalizacji <i>Number of wells at a single location</i>	Łączna liczba otworów <i>Total number of wells</i>	Ilość wody na pojedynczy otwór <i>The quantity of water for a single well [m<sup>3</sup>]</i>	Ilość wody przy założeniu powtórnego wykorzystania 15% wody <i>The quantity of water reuse with the assumption 15% water [m<sup>3</sup>]</i>	Ilość wody potrzebna na eksploatację gazu [tys. m <sup>3</sup> ] przy otworach poziomych o długości 1 km <i>The quantity of water needed for the exploitation of gas in thousand m<sup>3</sup> – horizontal wells with a length of 1 km</i>	Ilość wody potrzebna na eksploatację gazu [tys. m <sup>3</sup> ] przy otworach poziomych o długości 2 km <i>The quantity of water needed for the exploitation of gas in thousand m<sup>3</sup> – horizontal wells with a length of 2 km</i>	Ilość wody potrzebna na eksploatację gazu [tys. m <sup>3</sup> ] przy otworach poziomych o długości 3 km <i>The quantity of water needed for the exploitation of gas in thousand m<sup>3</sup> – horizontal wells with a length of 3 km</i>
1	5 (minimalny)	4	16	320	17 000	14 000	4 480	8 960	13 440
	15 (średni)	4	16	960	17 000	14 000	13 440	26 880	40 320
	25 (średni)	4	16	1600	17 000	14 000	22 400	44 800	67 200
	34 (maksymalny)	4	16	2176	17 000	14 000	30 464	60 928	91 392
2 i 3	2 (minimalny)	4	16	128	17 000	14 000	1 792	3 584	5 376
	4 (maksymalny)	4	16	256	17 000	14 000	3 584	7 168	10 752
4	1 (maksymalny)	4	16	64	17 000	14 000	896	1 792	2 688
5	3 (minimalny)	4	16	192	17 000	14 000	2 688	5 376	8 064
	13 (średni)	4	16	862	17 000	14 000	11 648	23 296	34 944
	23 (maksymalny)	4	16	1482	17 000	14 000	20 608	41 216	61 824

wód podziemnych. Ocena dostępności zasobów wodnych powinna być przeprowadzona według zblizonego schematu w poszczególnych obszarach bilansowych z uwzględnieniem uwarunkowań lokalnych.

## PODSUMOWANIE

Jednym z warunków prowadzenia skutecznej eksploatacji gazu ze złóż niekonwencjonalnych jest dostęp do odpowiedniej ilości zasobów wodnych. Z drugiej strony rozwój tego sektora gospodarczego nie powinien spowodować pogorszenia stanu środowiska, w tym oddziaływać negatywnie na gospodarkę wodną w rejonie prowadzonych prac wydobywczych. Z tego względu analiza możliwości wykorzystania zasobów wód podziemnych, jako jednego z możliwych źródeł zaopatrzenia w wodę na cele technologiczne, jest niezmiernie istotna. Przeprowadzona analiza na obszarze udzielonych koncesji na poszukiwanie i rozpoznawanie gazu z łupków wskazuje, że nawet intensywne eksploatacja na tym terenie nie powinna spowodować ryzyka dla zaopatrzenia ludności w wodę. Należy jednak dążyć do dywersyfikacji źródeł pozyskania wody na cele wydobywcze. Zaleca się, żeby w trosce o ochronę zasobów wód podziemnych służących w pierwszej kolejności zaspokojeniu potrzeb ludności na cele konsumpcyjne, decyzja o wykorzystaniu wód podziemnych na potrzeby technologiczne związane z eksploatacją gazu była poprzedzona analizą możliwości wykorzystania innych źródeł zaopa-

trzenia w wodę. Ponadto na etapie planowania inwestycji w ramach koncesji na eksploatację gazu analizę możliwości wykorzystania zasobów wód podziemnych należy przeprowadzić w skali obszaru bilansowego oraz rejonu wodnogospodarczego, odnosząc się do lokalnych zasobów wód podziemnych oraz warunków korzystania z wód.

## LITERATURA

- KIERSNOWSKI H. & DYRKA I. 2013 – Potencjał złożowy ordowicko-sylurskich łupków gazonośnych w Polsce: omówienie dotychczasowych raportów i propozycje udoskonalenia metodyki oceny zasobów gazu w raporcie w 2014 r. *Prz. Geol.*, 61 (6): 354–375.
- KONIECZYŃSKA M., WOŹNICKA M., ANTOLAK O., JANICA R., LICHTARSKI G., NIDENTAL M., OTWINOWSKI J., STARZYCKA A., STEC B., WRÓBEL G., POTRYKUS R., GDANIEC-ROHDE B. & WŁODARSKI T. 2011 – Badania aspektów środowiskowych procesu szczelinowania hydraulicznego wykonanego w otworze Lebień LE-2H – Raport końcowy, <http://www.pgi.gov.pl/institut-geologiczny-informacje-prasowe/4091-raport-z-lebienia-materia-prasowe.html>.
- POPRAWA P. 2010 – Potencjał występowania złóż gazu ziemnego w łupkach dolnego paleozoiku w basenie bałtyckim i lubelsko-podlaskim, *Prz. Geol.*, 58 (3): 226–249.
- REIG P., LUO T. & PROCTOR J. 2014 – Global shale gas development: Water Availability and Business Risks, World Resources Institute
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 6 listopada 2008 r. (Dz.U. z 2008 r. nr 225, poz. 1501, zał. 2).
- WOŹNICKA M. 2013 – Jaki wpływ na gospodarkę wodną może mieć wydobycie gazu ze złóż niekonwencjonalnych? *Prz. Geol.*, 61 (6): 348–353.
- WOŹNICKA M. & MIKOŁAJKÓW J. 2013 – Gospodarowanie wodami w procesie potencjalnej eksploatacji gazu z łupków w Polsce. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 456: 645–649.