

Ocena rezerwy dostępnych zasobów wód podziemnych w zlewniach bilansowych na potrzeby szczelinowania hydraulicznego

Robert Duda¹, Michał Maruta², Jan Macuda², Sylwester Tyszewski³

Assessment of the reserve of available groundwater resources in balance catchments for hydraulic fracturing. *Prz. Geol.*, 65: 1197–1201.

Abstract. The paper presents a methodology for estimating reserves of available groundwater resources for use, inter alia, for the purpose of fracturing unconventional gas reservoirs. The assessment is based on the balance of groundwater available resources and water abstraction with the amount allowed by water intakes permits. The balance included a variant of the assessment of reserves of groundwater available resources under conditions of drought, i.e. guaranteed resources. Estimation of reserves of groundwater resources was applied to water-management regions and to smaller units – the balance catchments, designated in the regions in order to determine the available surface water resources. The reserve of groundwater resources for established and guaranteed resources was estimated for the selected water-management region – the Wietcisa river catchment. This catchment is part of the Stara Kiszewa concession for the exploration and exploitation of shale gas resources in the Lower Paleozoic Baltic Basin, northern Poland.

Keywords: groundwater, available resources, reserve, hydraulic fracturing, shale gas, Poland

Rozwój górnictwa gazu niekonwencjonalnego winien być zgodny z zasadą zrównoważonego rozwoju (Mays, 2013; Uliasz-Misiak i in., 2014). Planowanie zwiększenia poboru wód podziemnych, wynikające z potrzeb szczelinowania, jest możliwe tylko do poziomu rezerwy dostępnych zasobów wód podziemnych. Operatorzy projektów są zobowiązani do posiadania planów gospodarki wodnej, które będą zakładały niewykorzystywanie zasobów wody na obszarach dotkniętych stresem wodnym (Szczepański, 2013; Zalecenie..., 2014). Nadmierny pobór wód podziemnych może spowodować w rzekach wystąpienie przepływów wody mniejszych niż przepływy nienaruszalne, a w konsekwencji zmniejszenie ilości wód podziemnych i powierzchniowych (Gręplowska i in., 2004). Równocześnie konieczne jest zagwarantowanie wystarczającej ilości wody dla społeczności lokalnych.

Możliwość wystąpienia ciągu lat o niekorzystnych warunkach atmosferycznych w wyniku zmian klimatycznych, tj. lat suchych, będzie skutkować zmniejszeniem odnawialnych zasobów wód podziemnych, a w konsekwencji również zasobów dyspozycyjnych (Aeschbach-Hertig, Gleeson, 2012; Taylor i in., 2013; Gorelick, Zheng, 2015; Olichwer, Tarka, 2015). Próbę wskazania metodyki oszacowania rezerwy dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych na cele szczelinowania hydraulicznego w skali regionalnej, w tym dla scenariusza zakładającego zmniejszenie ich zasilania jako skutku zmian klimatycznych, podjął Duda (2014). Możliwości wykorzystania tych wód na potrzeby eksploatacji gazu ze skał łupkowych w kilku obszarach prac poszukiwawczych w Polsce, przy założeniu dotychczasowego poboru wody na poziomie rejestrowanym (rzeczywistym), analizowali Mikołajków i in.

(2015). Stwierdzili, że na etapie planowania inwestycji w ramach koncesji na eksploatację gazu należy przeprowadzić analizę możliwości wykorzystania zasobów wód podziemnych w skali rejonu wodnogospodarczego, odnosząc się do lokalnych ich zasobów i warunków korzystania z wód.

Celem pracy jest przedstawienie propozycji sposobu oceny w zasięgu pojedynczej koncesji na eksploatację węglowodorów niekonwencjonalnych, tj. w skali lokalnej, wielkości rezerwy dostępnych zasobów wód podziemnych do wykorzystania na potrzeby szczelinowania skał zbiornikowych gazu, z uwzględnieniem scenariusza suszy hydrologicznej. W przypadku kilkuletniej suszy jest to warunkiem utrzymania dobrego stanu ilościowego wód podziemnych (Duda i in., 2017). Przyjęto ponadto, że bilans wodnogospodarczy tych wód będzie opracowany dla poboru wód podziemnych na poziomie dopuszczonym pozwoleniami wodnoprawnymi. Przyjęcie do sporządzenia bilansu największych możliwych wartości ich poboru skutkuje ustaleniem najmniejszych rezerw wody. Zwiększa to współczynnik bezpieczeństwa ochrony dobrego stanu ekologicznego środowiska wodnego i ekosystemów lądowych zależnych od wód podziemnych, co spełnia wymogi zaleceń Komisji UE z dnia 22.01.2014 r. w sprawie zasad rozpoznawania i wydobywania węglowodorów z zastosowaniem szczelinowania hydraulicznego (Zalecenie..., 2014). Podobne podejście zastosowali Gurwin i Wąsik (2013). Przyjęta średnioterminowa ocena rezerwy wynika z aktualnego 6-letniego (2016–2021) okresu planowania gospodarki wodnej w dorzeczach rzek UE i pozwala uniknąć niepewności związanej z oszacowaniem długoterminowym.

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. A. Mickiewicza 30, Kraków; duda@agh.edu.pl.

² AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, al. A. Mickiewicza 30, Kraków; maruta@agh.edu.pl, macuda@agh.edu.pl.

³ Politechnika Warszawska, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, pl. Politechniki 1, Warszawa; sylwester.tyszewski@is.pw.edu.pl.

MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Obszar i materiał badań

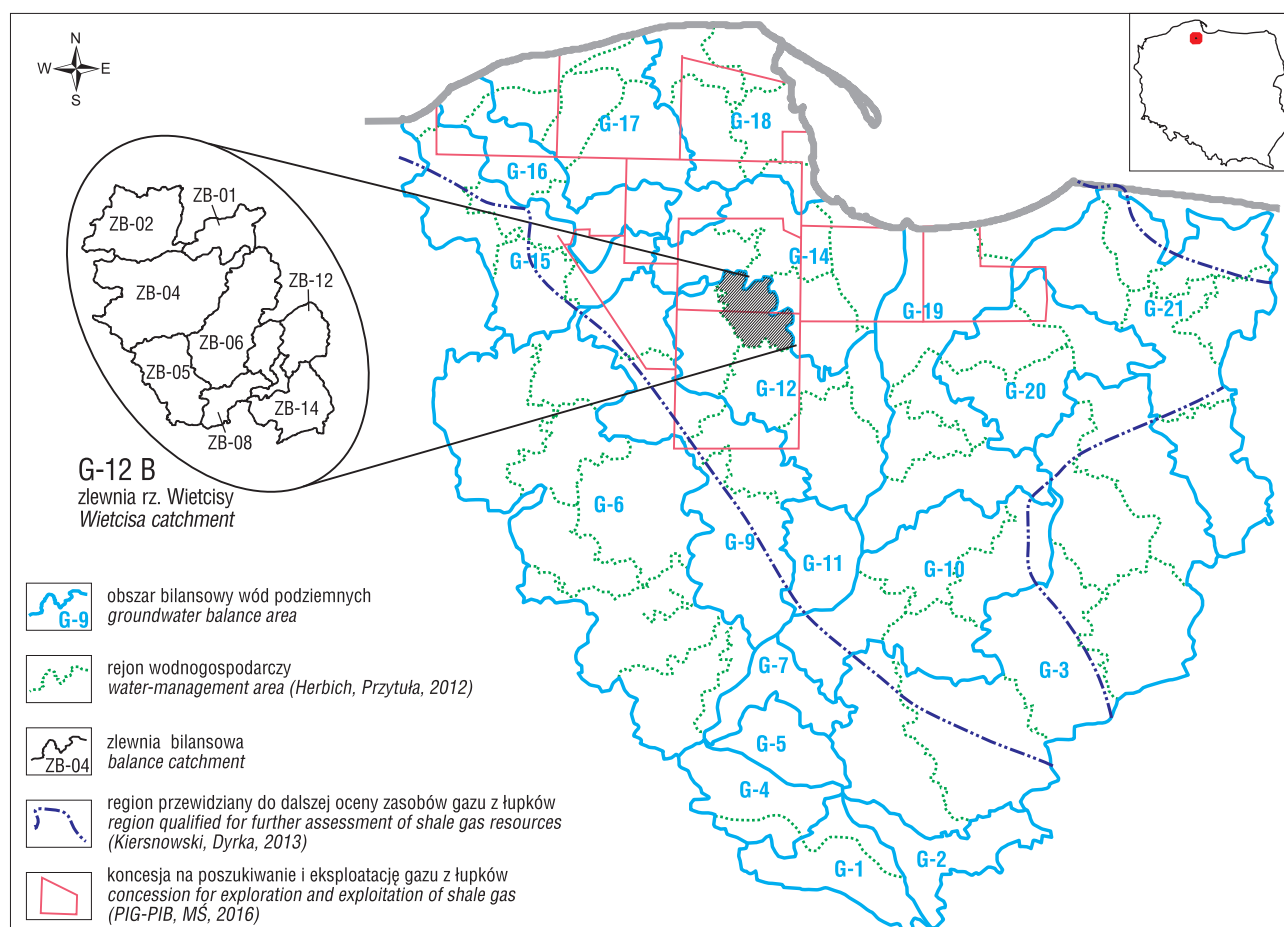
Metodykę oceny rezerwy zasobów wód podziemnych dostępnych na potrzeby szczelinowania przetestowano (Duda i in., 2017) dla rejonu wodnogospodarczego G-12 B – zlewnia rzeki Więcisy, znajdującej się części koncesji Stara Kiszewa na poszukiwanie i rozpoznawanie zasobów gazu z formacji łupkowych w basenie bałtyckim górnego paleozoiku. Zlewnia stanowi jeden z pięciu rejonów wodnogospodarczych wydzielonych w obszarze bilansowym wód podziemnych G-12 – zlewnia rzeki Wierzyca (Herbich, Przytuła, 2012). W podziale Polski na jednolite części wód podziemnych (JCWPd) zlewnia Więcisy znajduje się w granicach JCWPd nr 28, obejmującej zlewnie rzek Wdy i Wierzyca (www.psh.gov.pl).

Zgodnie z podziałem polskich rzek na jednolite części wód powierzchniowych, w rejonie wodnogospodarczym G-12 B – zlewnia Więcisy znajdują się cztery JCWPd. Ze względu na cel zadania badawczego występuje jednak potrzeba wykonania bardziej szczegółowego przestrzennego bilansu wodnogospodarczego tych wód. Z tego powodu w analizowanym rejonie wodnogospodarczym wydzielono 10 zlewni bilansowych (ZB) wód powierzchniowych. Ponieważ wody podziemne płytkich poziomów wodonoś-

nych i wody powierzchniowe są połączone hydraulicznie, bilans wodnogospodarczy wód podziemnych w zlewni Więcisy opracowano dla tych samych 10 ZB (ryc. 1 i 2).

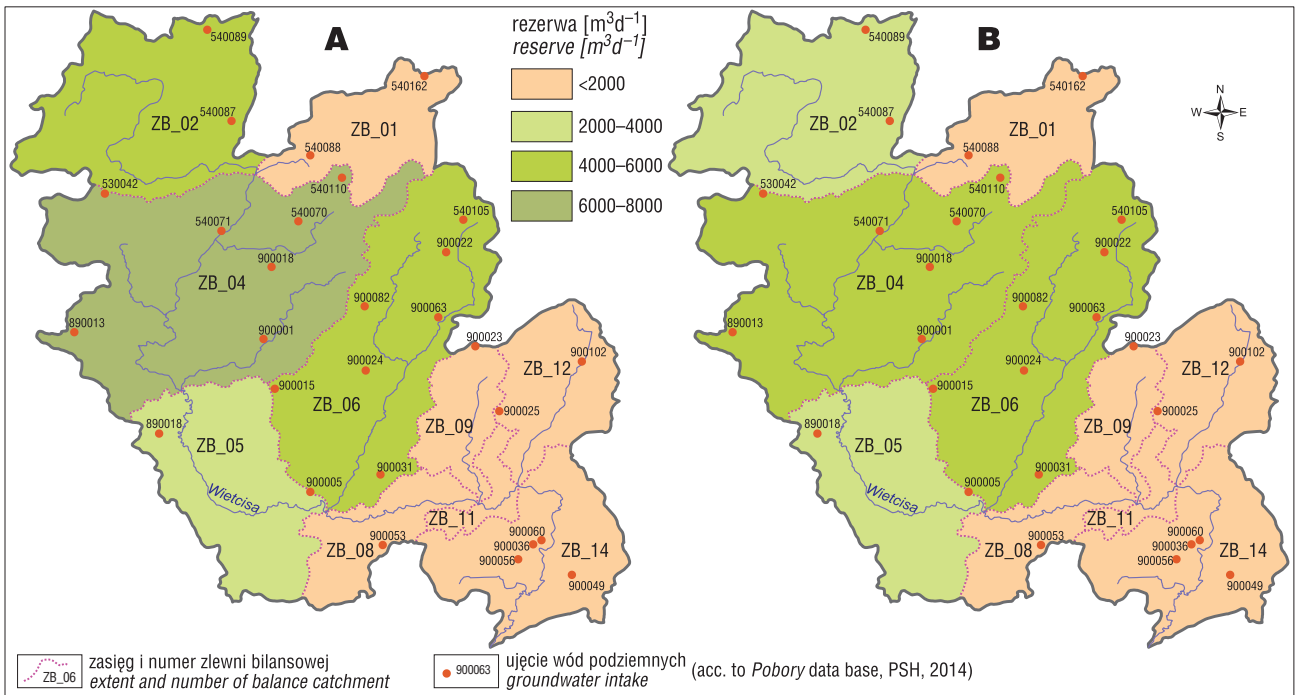
W zlewni Więcisy znajduje się 29 czynnych ujęć (ryc. 2), których łączny pobór wynosił $2731 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ (baza danych Pobory PSH, 2014). Studnie ujmują wody czwartorzędowego piętra wodonośnego. Według katastru Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej (RZGW) w Gdańsku, łączny dopuszczalny pozwoleńiami wodnoprawnymi pobór z ujęć zlokalizowanych w tej zlewni może wynosić $4507 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ (tab. 1).

W ocenach zasobowych pominięto nie odnotowany pobór wód podziemnych, czyli nie podlegający ewidencji, związany ze zwykłym i powszechnym użytkowaniem wód. Dotyczy to studni wierconych o niewielkich wydajnościach i studni kopanych, których sumaryczny pobór teoretycznie może znacząco wpłynąć na wielkość zasobów dostępnych do zagospodarowania, szczególnie w okresach suszy hydrologicznej. Założono, że pobór ten jest praktycznie poborem zwrotnym, czyli woda po wykorzystaniu pozostaje w zlewni, więc zasoby nie ulegają zmniejszeniu. Wynika to z dodatkowego zasilania płytkich wód podziemnych z bezpośredniego wprowadzania ścieków do ziemi przez otwarte lub nieszczelne przydomowe instalacje sanitarne i sieci kanalizacyjne.



Ryc. 1. Podział Regionu Wodnego Dolnej Wisły na obszary bilansowe wód podziemnych i podział zlewni Więcisy (rejon wodnogospodarczy G-12 B) na zlewnie bilansowe (Duda i in., 2017; zmienione)

Fig. 1. The division of the Low Vistula River Water Region into the groundwater balance areas and the division of the Więcisa River catchment (water-management area G-12 B) for the balance catchments (Duda et al., 2017; modified)



Ryc. 2. Mapa rezerwy zasobów wód podziemnych prognozowanej do 2021 r. w zlewniach bilansowych wydzielonych w zlewni Wietcisy, w odniesieniu do zasobów dyspozycyjnych ustalonych (A) i gwarantowanych (B), rezerwa wyrażona w m^3d^{-1}
Fig. 2. Map of groundwater resources reserve predicted up to 2021 in balance catchments designated in the Wietcisa River catchment, according to the established available resources (A) and guaranteed resources (B), reserve expressed by m^3d^{-1}

Tab. 1. Rezerwa zasobów wód podziemnych w wybranych zlewniach bilansowych (ZB) wydzielonych w zlewni Wietcisy (rejon wodnogospodarczy G-12 B), prognozowana do 2021 r. dla poboru wody ujęciami wg pozwoleń wodnoprawnych (Duda i in., 2017; uproszczone)
Table 1. Reserve of groundwater resources in selected balance catchments (ZB) designated in the Wietcisa River catchment (water-management area G-12 B), predicted up to 2021 for water abstraction according to water intakes permits (Duda et al., 2017; simplified)

Rejon wodnogospodarczy lub zlewnia bilansowa <i>Water-management area or balance catchment</i>	Powierzchnia <i>Surface area (F)</i>	F_{ZB}/F_{RW}	Zasoby dyspozycyjne <i>Available resources</i>		Pobór wody wg pozwoleń <i>Water abstraction according to intake permits (U_{dpw})</i>	Rezerwa zasobów wód podziemnych w odniesieniu do: <i>Reserve of groundwater resources according to:</i>			
			ustalone ^a <i>established (Z_d)</i>	gwarantowane <i>guaranteed (Z_{dgw})</i>		ustalonych zasobów dyspozycyjnych <i>established available resources</i>		gwarantowanych zasobów dyspozycyjnych <i>guaranteed available resources</i>	
	km ²	–	m^3d^{-1}	m^3d^{-1}	m^3d^{-1}	m^3d^{-1}	%	m^3d^{-1}	%
G-12 B	276,06	–	35 900 ^b	26 207	4 507	31 393	87	21 700	83
ZB_01	17,71	0,0642	2 303	1 681	969	1 334	58	712	42
ZB_02	38,55	0,1396	5 013	3 660	225	4 788	96	3 435	94
ZB_04	68,42	0,2478	8 898	6 495	836	8 062	91	5 659	87
ZB_05	30,45	0,1103	3 960	2 891	263	3 697	93	2 628	91
ZB_06	49,06	0,1777	6 380	4 657	376	6 004	94	4 281	92
ZB_09	10,82	0,0392	1 407	1 027	38	1 369	97	989	96
ZB_11	4,56	0,0165	593	433	0	593	100	433	100
ZB_14	26,14	0,0947	3 399	2 481	1 422	1 977	58	1 060	43

^a – wielkości zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych (Z_d) w zlewniach bilansowych (ZB) są szacunkowe, ponieważ określono je proporcjonalnie do udziału powierzchni ZB w powierzchni rejonu wodnogospodarczego G-12B / the amounts of the available groundwater reserves (Z_d) in the balance catchments (ZB) are estimated because there are determined in proportion of the ratio of ZB surface area within the surface area of water-management area G-12B

^b – wg dokumentacji zasobów wód podziemnych w obszarze bilansowym G-12 (Dokumentacja..., 2010) / according to the documentation of groundwater resources in balance area G-12

Metoda

Zastosowany sposób oceny wielkości rezerwy dostępnych zasobów wód podziemnych jest zbliżony do zasad metodycznych Herbicha i in. (2013). Przyjęte uproszczenie wynika z dostosowania do oceny rezerw dostępnych zasobów wody na cele ewentualnego, lokalnego szczelinowania hydraulicznego najbardziej zasobnych w gaz fragmentów struktur zbiornikowych gazu niekonwencjonalnego (Duda i in., 2017). Rezerwę (R) zasobów dyspozycyjnych w jednostce bilansowej określono na podstawie bilansu wodnogospodarczego:

$$R = Z_d - U$$

gdzie:

Z_d – zasoby dyspozycyjne jednostki bilansowej,

U – pobór wód podziemnych.

Bilans wodnogospodarczy wód podziemnych opracowano dla poboru wód podziemnych na poziomie średniodobowego poboru dopuszczonego pozwoleniami wodnoprawnymi, wg stanu na 2014 r. Pobór ten traktowano jako wartość stałą w ciągu 6 lat, dla których sporządzono bilans (2016–2021). Przyjęto, że oszacowanie rezerwy zasobów wód podziemnych będzie się odnosić nie tylko do rejonów wodnogospodarczych, ale również do jednostek mniejszych, tj. do zlewni bilansowych, wydzielonych w granicach rejonów w celu ustalenia wielkości zasobów dyspozycyjnych wód powierzchniowych. Dla ZB wyznaczonych w rejonie wodnogospodarczym nie ustala się bezpośrednio zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w dokumentacjach hydrogeologicznych. Wobec tego zasoby w poszczególnych ZB wydzielonych w rejonie wodnogospodarczym ($Z_{d(ZB)}$) zostały one obliczone proporcjonalnie do wielkości udziału powierzchni danej ZB względem powierzchni rejonu:

$$Z_{d(ZB)} = f \cdot Z_{d(RW)}$$

gdzie:

$Z_{d(RW)}$ – zasoby dyspozycyjne wód podziemnych w rejonie wodnogospodarczym ustalone w dokumentacji hydrogeologicznej,

f – udział powierzchni danej zlewni bilansowej (F_{ZB}) względem powierzchni rejonu wodnogospodarczego (F).

Wariant oceny rezerwy zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w rejonie wodnogospodarczym i zlewniach bilansowych (ZB) w warunkach kilkuletniej suszy hydrologicznej wykonano, korygując wielkości zasobów dyspozycyjnych. Przyjęto, że wartości skorygowane mogą w przybliżeniu odpowiadać gwarantowanym zasobom dyspozycyjnym wód podziemnych ($Z_{d(gw)}$), których definicję i sposób określania podali Herbich i in. (2013). Gwarantowane zasoby wód podziemnych w obszarach bilansowych w dorzeczu Wisły, bez rozdziału na rejonu wodnogospodarcze, zestawili Herbich i Przytuła (2012). W celu uzyskania gwarantowanych zasobów wody dla analizowanego rejonu wodnogospodarczego ($Z_{d(gw(RW))}$), zasoby dyspozycyjne wody ustalone tego rejonu ($Z_{d(RW)}$) zmniejszono w tej samej proporcji (w), jaka występuje pomiędzy zasobami gwarantowanymi wód podziemnych obszaru bilansowego

($Z_{d(gw(OB))}$), a jego ustalonymi zasobami dyspozycyjnymi ($Z_{d(OB)}$), czyli:

$$w = \frac{Z_{d(gw(OB))}}{Z_{d(OB)}}$$

Gwarantowane zasoby dyspozycyjne wód podziemnych w ZB, wydzielonych w analizowanym rejonie wodnogospodarczym, określono z zastosowaniem tego samego współczynnika.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Bilans wodnogospodarczy wód podziemnych, biorący pod uwagę aktualne w 2014 r. wielkości poboru dopuszczone pozwoleniami wodnoprawnym, wykazał, że w rejonie wodnogospodarczym G-12 B do 2021 r. występuje rezerwa dostępnych do zagospodarowania zasobów wód podziemnych, w odniesieniu do ustalonych zasobów dyspozycyjnych, wynosząca 31 393 m³d⁻¹. Dla poszczególnych ZB rezerwa ta waha się od 593 m³d⁻¹ w ZB_11 do 8062 m³d⁻¹ w ZB_04 (tab. 1, ryc. 2).

Gwarantowane zasoby dyspozycyjne wody ($Z_{d(gw(OB))}$) dla obszaru bilansowego G-12 wynoszą 150 340 m³d⁻¹, a ustalone $Z_{d(OB)}$ – 204 800 m³d⁻¹ (Herbich, Przytuła, 2012), wobec tego współczynnik korekcyjny wynosi $w = 0,73$. Ustalone zasoby dyspozycyjne dla rejonu wodnogospodarczego G-12 B wynoszą 35 900 m³d⁻¹ (Dokumentacja..., 2010), gwarantowane zasoby dyspozycyjne ($Z_{d(gw)}$) oszacowano na 26 207 m³d⁻¹ (tab. 1). Bilans wykazał, że w rejonie G-12 B do 2021 r. występuje rezerwa zasobów wód podziemnych w odniesieniu do gwarantowanych zasobów dyspozycyjnych, o wielkości 21 700 m³d⁻¹. Dla poszczególnych ZB rezerwa ta waha się od 433 m³d⁻¹ w ZB_11 do 5 659 m³d⁻¹ w ZB_04 (tab. 1, ryc. 2).

Zakładając bardzo intensywny rozwój wydobycia gazu z łupków, można przyjąć, że w zlewni Wietcisy przez kilka lat będzie wykonywanych rocznie 10 lokalizacji wydobycia gazu, tzw. padów, składających się z 16 otworów poziomych. Stymulacja wydobycia będzie przeprowadzona najtańszą, standardową technologią, wymagającą ok. 42 tys. m³ wody na zabieg szczelinowania skał wzdłuż 1 otworu o długości odcinka poziomego 3 km (Mikołajków i in., 2015). Zapotrzebowanie będzie więc wynosić ok. 6 720 000 m³/rok. Przyjmując rezerwę gwarantowanych zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w rejonie wodnogospodarczym G-12 B, ocenioną na 21 700 m³/d, czyli 7 920 500 m³/rok, można stwierdzić, że nawet w warunkach kilkuletniej suszy zapotrzebowanie może być zaspokojone bez przekształcania zasobów wody w tym rejonie. Zbliżoną interpretację uzyskanych wyników badań, przeprowadzonych w skali regionalnej dla kilku bloków koncesyjnych perspektywicznej eksploatacji gazu z formacji łupkowych w Polsce, podali Mikołajków i in. (2015).

WNIOSKI

Przyjęta metodyka pozwala w efektywny sposób oszacować w skali lokalnej, tj. w rejonie wodnogospodarczym, wielkość rezerwy dostępnych zasobów wód podziemnych do wykorzystania na potrzeby szczelinowania skał zbiorni-

kowych gazu niekonwencjonalnego, z uwzględnieniem scenariusza suszy hydrologicznej.

W celu oceny rezerwy zasobów wód podziemnych na potrzeby szczelinowania, w zasięgu całej koncesji na poszukiwanie i eksploatację gazu, należy dla zlewni bilansowych wydzielonych w rejonach wodnogospodarczych znajdujących się w koncesji wykonać analogiczne bilanse wodnogospodarcze, określić wielkości rezerw zasobów wody i je zsumować.

Pobór wody na potrzeby szczelinowania łupków nie powinien spowodować przeeksplotowania gwarantowanych zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w skali rejonów wodnogospodarczych. Ze względu na nierównomierność rozłożenia tych zasobów w poszczególnych zlewniach bilansowych, w przypadku lokalizacji miejsc eksploatacji gazu (padów) w zlewniach bilansowych o rezerwach zasobów wody mniejszych niż zapotrzebowanie, należy dokonywać uzupełniającego zaopatrzenia poprzez dowóz wody pobranej w innych zlewniach bilansowych. Uzyskana ocena rezerwy zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych jest również istotna dla starostw powiatowych w celu kontroli, czy sumaryczna wielkość dopuszczalnych poborów wody, wynikająca z pozwoleń wodnoprawnych wydawanych dla ujęć zlokalizowanych w części powiatu należącej do danej jednostki bilansowej, nie przekracza wielkości rezerwy.

Praca finansowana grantem NCBiR i ARP – projekt EKOŁUPKI, zadanie WP 2. Zaopatrzenie w wodę szczelinowania hydraulicznego, pakiet WP2.2 Przygotowanie cyfrowych map dostępnych/dyspozycyjnych zasobów wód. Autorzy pracy dziękują Recenzentom za wnikliwe oceny, które istotnie poprawiły jakość publikacji.

LITERATURA

- AESCHBACH-HERTIG W., GLEESON T. 2012 – Regional strategies for the accelerating global problem of groundwater depletion. *Nat. Geosci.*, 5: 853–861.
- DOKUMENTACJA hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Wierzycy wraz z obszarami bezpośrednich lewostronnych zlewni Wisły na odcinku od ujścia Mątwy po wodowskaz Tczew. autor: A. Węgrzyn, Hydroconsult Sp. z o.o., Warszawa, 2010 (niepubl.).
- DUDA R. 2014 – Assessment of disposable groundwater resources for hydraulic fracturing of gas shales in the Lublin Basin (eastern Poland). *Gosp. Sur. Min.*, 30 (4): 79–96.
- DUDA R., MACUDA J., TYSZEWSKI S., KIEJZIK-GŁOWIŃSKA M., NAWALANY M. 2017 – Bilans wodnogospodarczy wód podziemnych. [W:] Pusłowska-Tyszewska D., Tyszewski S. (red.), *Technologiczno-środowiskowe aspekty udostępniania gazu ze skał łupkowych*, T. I – Gospodarka wodą. Wyd. PGdań., Gdańsk.
- GORELICK S.M., ZHENG CH. 2015 – Global change and the groundwater management challenge. *Water Resour. Res.*, 51 (5): 3031–3051.
- GRĘPŁOWSKA Z., SZCZEPAŃSKI A., SZCZEPAŃSKA J., TYSZEWSKI S., WITCZAK S. 2004 – Ocena stanu wód powierzchniowych i podziemnych. [W:] Nachlik E. (red.), *Identyfikacja i ocena oddziaływań antropogenicznych na zasoby wodne dla wskazania części wód zagrożonych nieosiągnięciem celów środowiskowych*. Wyd. PKrak., Inż. Środ., Monografia, 318: 88–103.
- GURWIN J., WAŚNIK M. 2013 – Stan rezerw wód podziemnych w zlewni Baryczy. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 456: 193–198.
- HERBICH P., PRZYTUŁA E. 2012 – Bilans wodnogospodarczy wód podziemnych z uwzględnieniem oddziaływań z wodami powierzchniowymi w dorzeczu Wisły. *Informator PSH*, Państw. Inst. Geol., s. 123.
- HERBICH P., KAPUŚCIŃSKI J., NOWICKI K., RODZIOCH A. 2013 – Metodyka określania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w obszarach bilansowych z uwzględnieniem potrzeb jednolitych bilansów wodnogospodarczych – Poradnik metodyczny. Ministerstwo Środowiska, Wyd. BORGIS, Warszawa, s. 271.
- KIERSNOWSKI H., DYRKA I. 2013 – Ordovician-Silurian shale gas resources potential in Poland: evaluation of Gas Resources Assessment Reports published to date and expected improvements for 2014 forthcoming Assessment. *Prz. Geol.*, 61 (11/1): 639–656.
- MAYS L.W. 2013 – Groundwater Resources Sustainability: Past, Present and Future. *Water Resour. Manage.*, 27: 4409–4424.
- MIKOŁAJKÓW J., NIDENTAL M., WOŹNICKA M. 2015 – Analiza możliwości wykorzystania wód podziemnych na potrzeby eksploatacji gazu z formacji łupkowych na obszarze objętym pracami poszukiwawczo-rozpoznawczymi. *Prz. Geol.*, 63 (10/2): 944–949.
- OLICHWER T., TARKA R. 2015 – Impact of climate change on the groundwater run-off in south-west Poland. *Open Geosci.*, 7: 1–14.
- PIG-PIB & MŚ, 2016 – Mapa koncesji na poszukiwanie gazu ziemnego shale gas wg stanu na 31.08.016 r., opracowali Bońda R., Siekiera D., Szufflicki M., PIG-PIB, Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- PSH, 2014 – Baza danych POBORY.
- SZCZEPAŃSKI A. 2013 – Hydrogeologiczne i prawne uwarunkowania rozpoznawania i eksploatacji gazu łupkowego. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 456: 583–587.
- TAYLOR R.G., SCANLON B., DÖLL P., et al. 2013 – Ground water and climate change. *Nat. Clim. Change*, 3: 322–329.
- ULIASZ-MISIAK B., PRZYBYCIN A., WINID B. 2014 – Shale and tight gas in Poland – legal and environmental issues. *Energy Policy*, 65: 68–77.
- www.psh.gov.pl/publikacje/jcwpd/charakterystyka-zweryfikowanych-jcwpd.html.
- ZALECENIE Komisji z dnia 22.01.2014 r. w sprawie podstawowych zasad rozpoznawania i wydobywania węglowodorów (takich jak gaz łupkowy) z zastosowaniem intensywnego szczelinowania hydraulicznego (2014/70/UE). *Dz.U.U.E.L* z 08.02.2014.