

OCENA PRACY I ZASIĘGU ODDZIAŁYWANIA „DUŻEGO” UJĘCIA WÓD PODZIEMNYCH PO 40 LATACH UŻYTKOWANIA

EVALUATION OF FUNCTIONING AND THE INFLUENCE ZONE OF A “LARGE” GROUNDWATER INTAKE AFTER 40 YEARS OF USE

ARKADIUSZ WĘGRZYN¹, MAGDALENA WOŹNIAK¹, BARBARA GRZEBULSKA¹, CZESŁAW NOWAKOWSKI¹,
ALICJA SOBOLEWSKA¹, ŁUKASZ SOPEL¹

Abstrakt. W artykule przedstawiono wyniki kompleksowych badań hydrogeologicznych w celu oceny sprawności 40-letnich studni, poprawności wyznaczonych w latach 70. XX w. wielkości zasobów eksploatacyjnych „dużego” ujęcia i zasięgu jego oddziaływania. Badania hydrogeologiczne objęły prace terenowe, kartograficzne, pompowania pomiarowe oraz badania modelowe. Prace terenowe przeprowadzono w trakcie normalnej pracy Zakładu, co wiązało się z szeregiem uciążliwości wynikających z ograniczeń poboru wody dla celów technologicznych. W rezultacie przeprowadzonych badań stwierdzono, iż stan techniczny większości badanych studni, w wyniku 40-letniej eksploatacji, uległ znacznej poprawie, na co wskazuje wyraźny wzrost wydatku jednostkowego nawet o 4,5 raza. Według próbnych pompowań i badań modelowych ujęcie może pracować na poziomie zatwierdzonych zasobów (również pozwoleń wodnoprawnych), jednakże obszar zasilenia i oddziaływania jest niemal 2–3 razy większy w stosunku do obszaru oszacowanego metodami analitycznymi zaprezentowanymi w dokumentacji hydrogeologicznej wykonanej w latach 70 ubiegłego wieku.

Słowa kluczowe: ujęcie wód podziemnych, badania hydrogeologiczne, zasoby eksploatacyjne, zasoby odnawialne, model hydrodynamiczny.

Abstract. The paper presents the results of comprehensive hydrogeological studies to evaluate the efficiency of 40-years old wells, correctness of the amount of exploitable groundwater resources of a “large” intake, predicted in the 1970s, and to assess the range of its influence zone. Hydrogeological studies included field work, mapping, test pumping and modelling. Field work was carried out during the normal operation of the Department, which was associated with a number of nuisances resulting from water intake limits for technological purposes. The research found that the technical condition of most wells after 40 years of operation has greatly improved, as indicated by a marked increase in the specific well’s discharge as much as 4.5 times. According to test pumping and modelling studies, the intake can still work at the level of approved groundwater resources (including water-legal permits), however the recharge area and influence zone are almost 2–3 times greater compared to the area estimated by analytical methods presented in the hydrogeological documentation compiled in the 1970s.

Key words: groundwater intake, hydrogeological studies, exploitable groundwater resources, renewable resources, hydrodynamic model.

WSTĘP

Niniejszy artykuł powstał na podstawie badań hydrogeologicznych wykonywanych w 2010 r. przez firmę Hydroconsult Sp. z o.o. (Oddział w Warszawie), dla oceny stanu „du-

żego” ujęcia wód podziemnych, z którego woda jest przeznaczona na potrzeby produkcyjne i gospodarcze Zakładu Przemysłowego. Zakład posiada 5 studni (zgrupowane

¹ Hydroconsult Sp. z o.o. Oddział w Warszawie, ul. Nocznickiego 33, 01-918 Warszawa; e-mail: wawa@hydroconsult.com.pl

w 3 ujęcia) wykonanych w latach 70., o łącznych zatwierdzonych zasobach eksploatacyjnych w wysokości 400 m³/h. Studnie zostały odwiercone do głębokości 95–130 m. Warstwę wodonośną ujęto filtrem (1–3 odcinki) w strefie głębokości 30,5–126,0 m. Pobór wody zmienia się w ciągu roku, średnio w skali całego 2008 roku wyniósł ok. 32%, natomiast w okresie szczytu produkcji wzrasta do 50–55% zasobów eksploatacyjnych ustalonych w dokumentacji. Podobne relacje poboru wody do wielkości zasobów były w poprzednich latach. W związku z planowanym wzrostem produkcji Zakładu, zaistniała konieczność oceny możliwości poboru wód podziemnych z użytkowanych obecnie studni w ilości zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych ujęcia, jak również potwierdzenia sprawności poszczególnych studni.

Zakres prac obejmował klasyczne procedury badawcze, tj.: szczegółową analizę materiałów archiwalnych i publikowanych, kartowanie hydrogeologiczne, analizę poboru wody na ujęciu oraz wykonanie próbnych pompowań badaw-

czych pojedynczych i zespołowych przy użyciu istniejącej infrastruktury technicznej tych ujęć. Pompowania badawcze studni zostały wykonane zgodnie z zasadami zalecanymi w poradnikach metodycznych (Dąbrowski i in., 2004; Dąbrowski, Przybyłek, 2005). Badania terenowe obejmowały test studni oraz test warstwy/systemu wodonośnego.

Finalnym etapem badań był numeryczny model hydrodynamiczny dający podstawę oceny wiarygodności rozpoznania odnawialności i zasobów eksploatacyjnych tego ujęcia oraz określenia obszaru oddziaływania ujęcia w warunkach poboru wód podziemnych na poziomie pozwolenia wodnoprawnego i zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych. Próbné pompowania pozwoliły ocenić aktualne warunki eksploatacyjne poszczególnych studni wraz z prognozą pracy na przyszłość i uwzględnieniem współdziałania z sąsiednimi ujęciami (w tym wodociągowymi). Do przygotowania modelu hydrodynamicznego wykorzystano pakiet programowy PAKSP z biblioteki HYDRYLIB.

CHARAKTERYSTYKA TERENU BADAŃ

Rejon badań jest położony w południowo zachodniej części województwa mazowieckiego. Jest to obszar o skomplikowanej budowie tektonicznej. Jurajski system skalny został podzielony na struktury blokowe, które są monoklinalnymi fragmentami obrzeżenia mezozoicznego Gór Świętokrzyskich. Warstwą wodonośną są piaskowce drobno-, średnio-, a niekiedy gruboziarniste z miąższymi przewarstwieniami mułowców i iłowców wieku liasowego. Kompleks ten tworzy zbiornik szczelinowo-porowy (główny po-

ziom wodonośny), w którym strefa aktywnej wymiany wód wynosi 150–200 m. Miąższość utworów wodonośnych jest zróżnicowana i wynosi od kilku do ponad 90 m. Strop warstw wodonośnych występuje na różnych głębokościach od 4,0 do ponad 90 m, a zwierciadło wody najczęściej ma charakter naporowy i stabilizuje się na głębokości od 0,5 do 30 m p.p.t. Utwory czwartorzędowe występują płatami, w których osady piaszczyste tworzą podrzędny lokalny poziom wodonośny (głównie w strukturach dolinnych).

POMPOWANIE BADAWCZE STUDNI

Pompowania badawcze studni wykonano wg wcześniej wspomnianych poradników metodycznych (Dąbrowski i in., 2004; Dąbrowski, Przybyłek, 2005) i obejmowały **test studni** oraz **test warstwy (systemu wodonośnego)**, tj. pompowanie zespołowe na jednym stopniu dynamicznym, z łączną wydajnością równą zasobom eksploatacyjnym ujęcia $Q = 400 \text{ m}^3/\text{h}$.

OCENA SPRAWNOŚCI TECHNICZNEJ I EKSPLOATACYJNEJ STUDNI

Badanie sprawności hydraulicznej studni przeprowadzono w warunkach ruchu ustalonego ze wzrastającą wydajnością, według procedury **test studni** – zgodnie z poradnikiem metodycznym (Dąbrowski, Przybyłek, 2005). Wartość $Q_3=3Q_1$ była równa maksymalnemu wydatkowi zainstalowanej pompy w badanej studni. Interpretację wyników wykonano metodą przybliżenia logarytmicznego Theisa-Jacoba. W tabeli 1 przedstawiono wyniki pompowania i obliczenia sprawności badanych studni.

Porównując otrzymane wyniki dla studni Nr A1 i A2 z wynikami z okresu wykonania studni, można stwierdzić, że stan techniczny studni w dużym stopniu polepszył się w czasie ich użytkowania. Studnie te charakteryzują się niskim współczynnikiem oporu (C) oraz wyraźnym wzrostem wydatku jednostkowego (q). Fakt ten niewątpliwie należy przypisać oczyszczaniu przestrzeni okołowarstwowej studni w trakcie jej eksploatacji. Podobne zjawisko występuje w studni B1, natomiast w pozostałych studniach nie zaobserwowano istotnych zmian stanu technicznego, wydatki jednostkowe studni były zbieżne w obu okresach badawczych.

OCENA ZASOBÓW EKSPLOATACYJNYCH UJĘCIA

Podstawą do oceny zasobów eksploatacyjnych ujęcia i warunków współdziałania studni była analiza wyników zespołowego pompowania badawczego (test warstwy) oraz od-

Tabela 1

Zestawienie wyników obliczeń hydrogeologicznych
Summary of hydrogeological research results

Nazwa ujęcia	Nazwa studni	Wydajność ostatniego stopnia pompowania Q_{max} [m ³ /h]	Depresja s [m]	Współczynnik oporu studni C [h ² /m ⁵]	Opór hydrauliczny w warstwie wodonośnej B [h/m ²]	Sprawność studni na ostatnim stopniu pompowania η [-]	Sprawność studni przy eksploatacji z wydatkiem do Q_{max} η [%]	Wydatek jednostkowy studni q [m ³ /h/1mS] na ostatnim stopniu pompowania	
								wg ekspertyzy (2010 r.)	wg dokumentacji (lata 70.)
A	A1 (awaryjna)	137	3,47	0,000038	0,0200	0,790	80–90	39,5	17,63
	A2 (podstawowa)	147	4,38	0,000053	0,0220	0,738	70–90	33,6	12,65
B	B1 (awaryjna)	120	9,48	0,000308	0,0421	0,533	50–75	12,7	2,80
	B2 (podstawowa)	165	18,12	0,000456	0,0345	0,314	30	9,1	11,66
C	C1	87	8,09	0,000504	0,0491	0,528	52–65	10,8	9,70

wzorowanie warunków hydrogeologicznych na numerycznym modelu hydrodynamicznym.

Test warstwy: Pompowanie zespołowe studni (st. Nr A2, B2 i C1) przeprowadzono z łącznym stałym wydatkiem ok. 400 m³/h przez okres 72 godzin (dla studni tj.: st. Nr A2 $Q = 153$ m³/h, st. Nr B2 $Q = 157$ m³/h; st. Nr C1 $Q = 74$ m³/h, są to wartości średnie z całego okresu pompowania). Obserwacje stanów zwierciadła wody prowadzono we wszystkich możliwych studniach wierconych i kopanych w rejonie badań.

Przeprowadzenie pompowania, ze stałą wydajnością w warunkach zachowania ciągłości produkcji Zakładu, nastąpiło szereg trudności. Najwięcej trudności dostarczyło zachowanie stałego wydatku studni w związku z koniecznością uruchomienia urządzeń do uzdatniania wody. Powodowało to znaczny spadek ciśnienia pompowanej wody, co zakłóciło przebieg wykresów próbnego pompowania i nastąpiło trudności w interpretacji wyników badań, przy czym zmiany wydatków studni nie przekraczały jednak 10%.

Parametry hydrogeologiczne warstwy obliczono metodą przybliżenia logarymicznego Theisa-Jacoba. Wyniki uzyskane podczas pompowania zespołowego i wzniosu zwierciadła przedstawiono w tabeli 2.

Wielkości współczynników filtracji (k) dla badanych otworów mieszczą się w granicach 0,4–0,6 m/h. Współczynnik zasobności sprężystej (S_s) zawiera się w przedziale 0,07–0,0009 i wskazuje na zmienne warunki hydrodynamiczne

w badanym rejonie. Łączne ilości pompowanej wody ($\Sigma \sim 384$ m³/h) w trakcie testu wskazały na realną możliwość uzyskania określonej w dokumentacji zasobowej ilości wody, co było celem wykonanych badań.

MODEL NUMERYCZNY OBSZARU BADAŃ

Do oceny wielkości zasobów eksploatacyjnych ujęcia stworzono numeryczny model hydrodynamiczny o parametrach rozłożonych, pozwalający na ocenę skutków długotrwałej eksploatacji wód współdziałających studni i systemu drenażu oraz wykonanie bilansu wodnego.

Zadaniem modelu było zweryfikowanie złożonego układu krążenia wód w rejonie ujęć, oszacowanie, jaki wpływ będzie miała zwiększona eksploatacja ujęć na warunki hydrodynamiczne obszaru, w tym na pracę sąsiednich ujęć oraz porównanie z wynikami zawartymi w dokumentacji z lat 70.

Określenie zasięgu modelowanego obszaru oparto na wynikach szczegółowej analizy danych hydrogeologicznych, m.in. na ukształtowaniu zwierciadła wody w poszczególnych poziomach wodonośnych oraz o przewidywane współdziałanie ujęcia Zakładu i ujęcia miejskiego. Obszar modelu objął powierzchnię 96,2 km².

Przewodność warstwy wodonośnej jest zróżnicowana i mieści się w granicach od 2,0 do >34,0 m²/h, a najwyższe

Tabela 2

Wyniki próbnego pompowania – test warstwy
Pumping test results – aquifer test

Nazwa pompowanej studni (otwór obserwacyjny)	Współczynnik filtracji k_{sr} [m/h]	Przewodność hydrauliczna T_{sr} [m ² /h]	Współczynnik zasobności sprężystej S_s [-]	Wydajność pompowania średnia Q_{sr} [m ³ /h]	Depresja s [m]	Wydatek jednostkowy q [m ³ /h/1mS]
A2 (A1)	0,50–0,56	20,0–22,5	0,0009	153	7,08	22,46
B2 (B1)	0,54–0,61	30,3–32,2	0,0005	157	21,5	7,91
C1	0,39	9,66	0,07	74	9,35	8,45

wartości są związane ze strefami dyslokacji, uskoków i szczelin. Zasilanie efektywne na modelowanym obszarze średnio wynosi $11,4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$ i znajduje się w dolnym zakresie wartości zasobów odnawialnych, szacowanych w regionalnych badaniach hydrogeologicznych ($10,8\text{--}15,0 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$).

Drenaż wód podziemnych do cieków powierzchniowych, oszacowany metodą modelowania numerycznego, wyniósł $6,3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$ i wynik ten jest zgodny (różnica ok. 10%) z wartościami odpływu podziemnego w ciekach tego rejonu – $6,9 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$ wg J. Orsztynowicz (1988 r.).

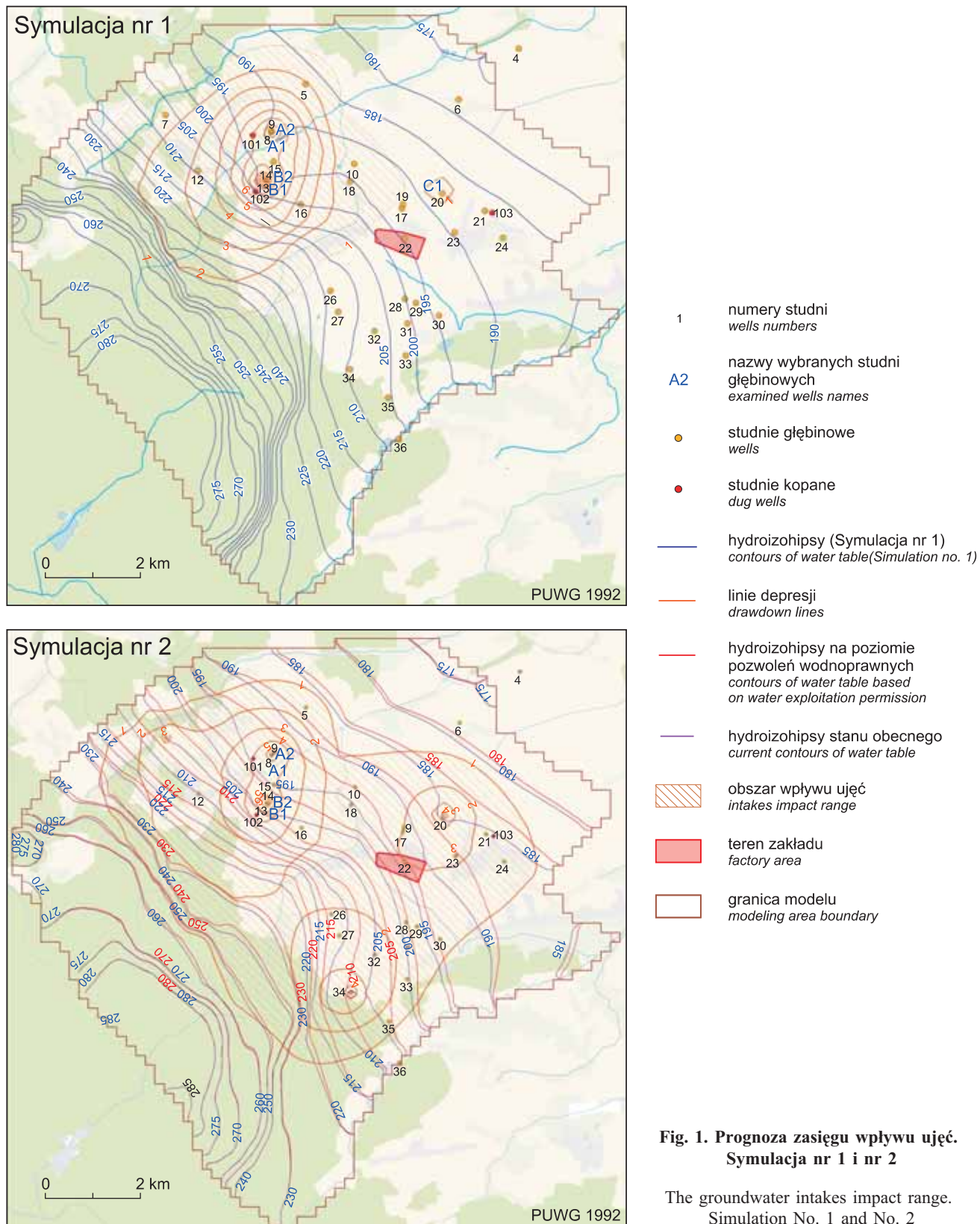


Tabela 3

Wartości zasobów odnawialnych określone w różnych opracowaniach

The amounts of renewable resources assessed in various researches

Źródło	Metoda oceny zasobów odnawialnych	Moduł zasobów odnawialnych		Procent opadu
		[m ³ /h/km ²]	[mm]	[%]
Dokumentacja hydrogeologiczna z lat 70.	z eksploatacji	33,8	296	49,3
	z opadu zakładając wskaźniki średnie	34,3	300	50
	z opadu zakładając wskaźniki minimalne	27,1	237,3	40
	z przepływu hydrodynamicznego	42,6	373,4	62
Regionalne dokumentacje hydrogeologiczne		10,8–15,0	94,9–131,4	15,8–21,8
Badania modelowe w ramach ekspertyzy		11,4	99,8	16,5

Na potrzeby oceny współdziałania ujęć Zakładu z sąsiednimi ujęciami oraz wielkości ich oddziaływania wykonano kilkanaście symulacji dla różnych poziomów eksploatacji. W poszczególnych symulacjach oceniano wyniki bilansu wodnego modelu, zmiany ukształtowania zwierciadła wody oraz zmiany drenażu na ciekach. Ukształtowanie zwierciadła wody dwóch wybranych symulacji przedstawiono na figurze 1.

Symulacja nr 1 – przyjęto, że wydajność ujęcia Zakładowego równa jest zatwierdzonym zasobom eksploatacyjnym tj. 400 m³/h, zaś wydatek pozostałych ujęć odpowiada średniemu aktualnemu poborowi. **Symulacja nr 2** – przyjęto, że wydatki wszystkich ujęć (również ujęcia Zakładowego) równe są maksymalnemu dopuszczalnemu poborowi, określone w pozwoleniach wodnoprawnych (dla ujęcia Zakładowego odpowiada to 343 m³/h), zaś dla innych ujęć 3-krotnie przekracza rzeczywisty pobór z 2008 r.).

Z analizy Symulacji nr 1 wynika, że zasięg oddziaływania ujęć Zakładowych nie koliduje z pracą innych ujęć. Symulacja nr 2 wykazała, że zasięgi oddziaływania poszczególnych ujęć Zakładu i ujęć wiejskich łączą się, tworząc lokalny lej depresji z centrum w rejonie ujęć Zakładu. Współdziałanie studni przy takim poborze wywołuje zbyt dużą infiltrację z cieków do warstwy wodonośnej, co prowadzić może w efekcie do zaniku przepływu.

Zasoby eksploatacyjne ujęć, przedstawione w dokumentacji z lat 70. ustalone na poziomie 400 m³/h, odpowiadają istniejącym warunkom technicznym i hydrogeologicznym ujęć. Do ich określenia korzystano z metod analitycznych, w których nie brano pod uwagę współdziałania innych ujęć. Zasięg oddziaływania ujęć Zakładu, określony w dokumentacji ustalającej zasoby eksploatacyjne, obejmuje powierzchnię równą 17,28 km². Zgodnie z badaniami modelowymi obszar ten jest znacznie większy i wynosi ok. 45 km².

Porównanie zasięgów oddziaływania ujęć i wielkości zasobów odnawialnych, określonych w dokumentacji opracowanej w latach 70. z wynikami badań modelowych, wskazuje na duże rozbieżności. Ilustrują to moduły zasobów odnawialnych zestawione w tabeli 3.

Moduły zasobów odnawialnych w dokumentacji kształtują się na poziomie 27,1–42,6 m³/h/km² i są 2,3–3,7 razy większe od otrzymanych wyników w badaniach modelowych. Wielkość infiltracji efektywnej w badaniach modelowych jest na poziomie ok. 16% opadów atmosferycznych, zaś w archiwalnych opracowaniach na poziomie 40–62%. Porównanie wielkości odnawialności wód podziemnych i powierzchni oddziaływania ujęcia wskazuje na duże różnice wyników. Należy uznać, że przyjęte metody szacowania tych wartości w opracowaniu archiwalnym i w badaniach modelowych nie są porównywalne.

PODSUMOWANIE

Test studni wykazał, że 40-letnia eksploatacja studni w znacznym stopniu poprawiła warunki dopływu wody do strefy przyfiltrowej. Wydatek jednostkowy w czterech z pięciu studni zwiększył się (nawet do 4,5 razy) w stosunku do wartości z okresu budowy studni (tab. 1). Istniejące studnie mogą być eksploatowane o łącznym wydatku ok. 400 m³/h, tj. w wielkości zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych.

Badania modelowe, oparte na aktualnych wynikach kartowania i pompowaniach badawczych, wykazały istotne róż-

nice w ocenie obszarów zasilania i oddziaływania opisywanych ujęć. Według badań modelowych ujęcia pracujące na poziomie zatwierdzonych zasobów (również pozwolenia wodnoprawnych) mają niemal 2–3 razy większy obszar oddziaływania i zasilania w stosunku do obszaru oszacowanego metodami analitycznymi zaprezentowanymi w dokumentacji hydrogeologicznej wykonanej w latach 70.

LITERATURA

- DĄBROWSKI S., GÓRSKI J., KAPUŚCIŃSKI J., PRZYBYŁEK J., SZCZEPAŃSKI A., 2004 — Metodyka określania zasobów eksploatacyjnych ujęć zwykłych wód podziemnych – Poradnik metodyczny. Polgeol S.A, Hydroconsult Sp. z o.o., Warszawa.
- DĄBROWSKI S., PRZYBYŁEK J., 2005 — Metodyka próbnych pompowań w dokumentowaniu zasobów wód podziemnych – Poradnik metodyczny. Hydroconsult Sp. z o.o., Warszawa.
- ORSZTYNOWICZ J., 1988 — Średnie roczne i wieloletnie odpływy podziemne na obszarze Polski w okresie 1951–1980. IMGW, Warszawa.

SUMMARY

The paper presents the results of comprehensive hydrogeological studies to evaluate the efficiency of “40-years old” wells and correctness of the amount of exploitable groundwater resources of a “large” intake, predicted in the 1970s, and to assess the range of its influence zone. Hydrogeological studies included field work, mapping, test pumping and modelling. Field work was carried out during the normal operation of the Department, which was associated with a number of nuisances resulting from water intake limits for technological purposes.

The well test revealed that 40-year operation of the well has greatly improved the groundwater recharge conditions in the near-screen zone. The specific well's discharge in four out of the five wells has increased (as much as 4.5 times) re-

lative to the value from the well construction period (Tab. 1). The existing wells can be operated with a total discharge rate of about 400 m³/h, i.e., according to the amount of approved exploitable resources.

Modelling studies that based on current mapping and test pumping results show significant differences in the assessment of discharge areas and influence zones of the intakes. Modelling research indicates that the recharge areas and influence zones of the intakes that operate at the level of approved groundwater resources (including water-legal permits) are almost 2–3 times greater than those estimated by analytical methods presented in the hydrogeological documentation compiled in the 1970s.