

ANALIZA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ZASOBÓW WÓD PODZIEMNYCH NA PODSTAWIE NUMERYCZNYCH MODELI WYBRANYCH STRUKTUR WODONOŚNYCH REJONU WROCŁAWIA

THE USE OF POTENTIAL GROUNDWATER RESOURCES FROM NUMERICAL MODELS OF SELECTED HYDROGEOLOGICAL STRUCTURES NEAR WROCŁAW

JACEK GURWIN¹, LECH POPRAWSKI¹

Abstrakt. Przeprowadzone prace miały na celu ocenę możliwości zaopatrzenia aglomeracji Wrocławia w wodę dobrej jakości ze zbiorników wód podziemnych. Badania skoncentrowano na GZWP wydzielonych w otoczeniu miasta. Wykonane numeryczne modele potwierdziły, że zasoby zbiorników kenozoicznych są odpowiednie, by lokalizować w nich duże ujęcia, które w znaczący sposób uzupełniłyby istniejący system zaopatrzenia mieszkańców. Zasoby dyspozycyjne wód podziemnych badanych obszarów oceniono na poziomie ok. 170 tys. m³/d. Oprócz stwierdzenia znaczących zasobów GZWP 322 i formalnie nieistniejącego GZWP 321-E w optymalizacji modelowej wykazano możliwość ujęcia 15 tys. m³/d ze struktury bogdaszowickiej, włączonej do wschodniej części GZWP 319, na zachód od Wrocławia. Moduł odnawialności infiltracyjnej obliczono na 3,0 l/s km².

Słowa kluczowe: numeryczny model filtracji, zasoby wód podziemnych, GZWP, MODFLOW/MODPATH, aglomeracja Wrocławia.

Abstract. The aim of the research was to evaluate capability of giving furtherance to the water supply system in the Wrocław agglomeration from groundwater reservoirs. They focused on MGWBs in the vicinity of the city. Numerical model calculations prove that groundwater resources of Cenozoic structures are appropriate for localising large intakes to significantly support the Wrocław water supply system. Disposal groundwater resources in the study areas were evaluated at ~170 000 m³/d. Apart from indicating the groundwater resources in the MGWB 322 and the formally cancelled MGWB 321-E, it was also shown the possibility of extraction of 15 000 m³/d from the Bogdaszowice structure included in the MGWB 319. Recharge from infiltration was evaluated at 3.0 l/s km².

Key words: numerical groundwater modelling, groundwater resources, MGWB, MODFLOW/MODPATH, Wrocław agglomeration.

WSTĘP

Wrocław od XIII wieku posiada zbiorowy system zaopatrzenia w wodę. Pierwszym dokumentem historycznym mówiącym o zaopatrzeniu w wodę i odprowadzaniu ścieków jest przywilej księcia Henryka IV Prawego (Probusa) z 31 stycznia 1272 r. Zezwalał on miastu na pobór wody z Odry i Oławy dla wodociągów i zasilanie fos miejskich oraz na

odprowadzanie ścieków. W przeszłości źródłem wody dla miasta były najczęściej wody powierzchniowe. Jednakże od czasu wielkich epidemii w końcu XIX wieku źródłem zaopatrzenia w wodę stały się wody podziemne dolin Odry i Oławy. Od 1905 r. miasto było zaopatrywane w wodę pitną z ujęcia infiltracyjnego (fig. 1). Ta niezbyt udana inwestycja

¹ Uniwersytet Wrocławski, Wydział Nauk o Ziemi i Kształtowania Środowiska, Instytut Nauk Geologicznych, pl. Maxa Borna 9, 50-205 Wrocław; e-mail: jacek.gurwin@ing.uni.wroc.pl

stworzona przez niemieckich inżynierów jest stale rozbudowywana (Poprawski, 1989a).

Ponieważ ujęcie dla Wrocławia bazuje na wodach powierzchniowych Oławy, zdecydowano się przeprowadzić szereg prac badawczych dla ustalenia możliwości uzupełnienia systemu o pobór wód podziemnych znacznie lepszej jakości ze struktur wodonośnych w pobliżu Wrocławia.

Podstawą obliczeń bilansowych i zasobowych były numeryczne modele filtracji, wykonane w różnej skali i o różnym stopniu szczegółowości. Wykazano, że wykształcenie kenozoicznych poziomów wodonośnych jest odpowiednie dla lokalizacji ujęć wód podziemnych o wydajnościach co

najmniej kilkunastu tys. m³/d, co stwarza możliwość alternatywnego zaopatrzenia aglomeracji Wrocławia w wodę. Na podstawie symulacji optymalizacyjnych wykonanych na numerycznych modelach filtracji dla wschodniej części byłego GZWP nr 321 oraz struktury Bogdaszowice–Radakowice przedstawiono składniki bilansowe i ocenę zasobów wód podziemnych. Uzyskane wyniki przeanalizowano łącznie z obliczeniami dla systemu wodonośnego GZWP nr 322 Oleśnica, położonego na NE od Wrocławia (Gurwin, Serafin, 2007), objętego także wcześniejszym modelem dla obszaru oleśnicko-nieciszowskiego (Staško, 2004).

AKTUALNY STAN ZAOPATRZENIA WROCLAWIA W WODE

Wody powierzchniowe ze stawów infiltracyjnych poddawane są uzdatnianiu w zakładzie Na Grobli, a od 1982 r. działa stacja uzdatniania w Mokrym Dworze. Zakłady w 99% bazują na wodach powierzchniowych (fig. 1). Jakość wód dostarczana ze stawów infiltracyjnych do produkcji wody pitnej w tych zakładach pozostawia jednak wiele do życzenia. Analiza środowiska hydrogeochemicznego w obszarze zlewni wodociągowej Wrocławia została przedstawiona przez Mądralę i in. (2001).

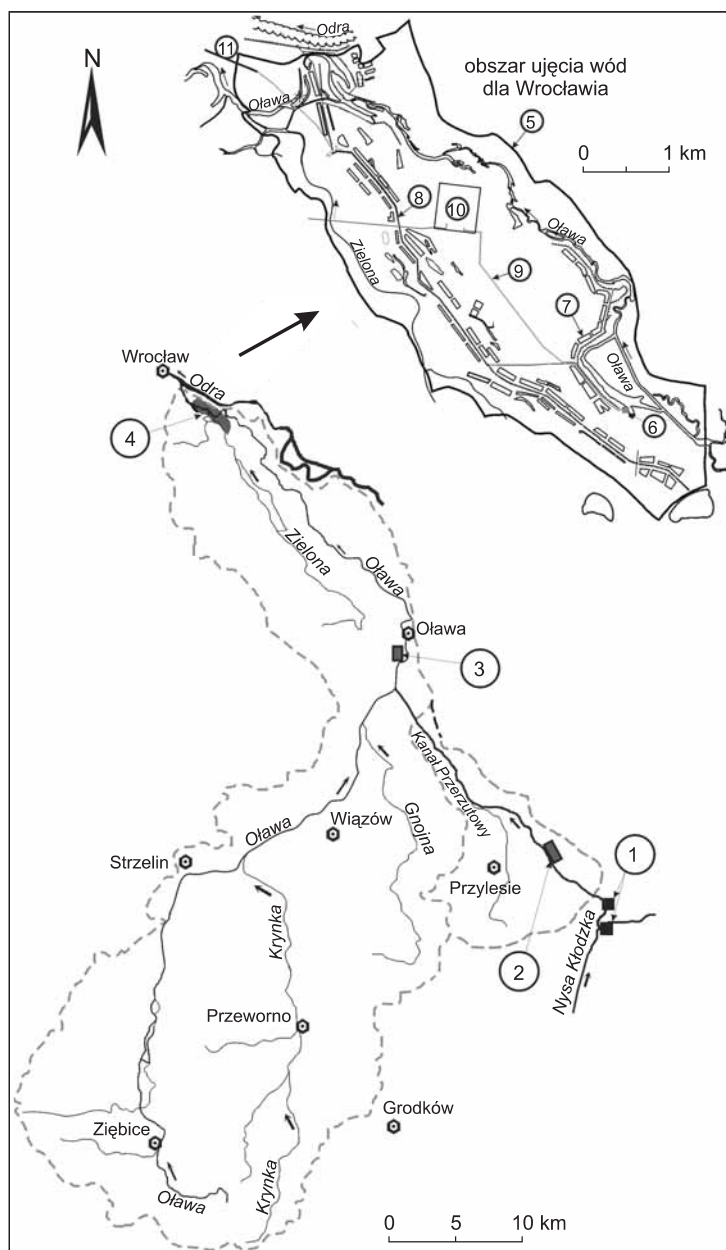
Średnie dobowe zużycie wody aglomeracji wrocławskiej wynosiło w latach osiemdziesiątych ubiegłego stulecia 240 tys. m³/d, a w ostatnich latach kształtuje się na poziomie około 120 tys. m³/d. Obecnie dla potrzeb wrocławskich wodociągów eksploatuje się mniej niż 1% wód podziemnych (ujęcie z utworów neogenu w Leśnicy, które zaopatruje mieszkańców Leśnicy i kilku okolicznych osiedli). Z eksploatacji została wyłączona studnia głębinowa Grobla II, ujmująca wodę z piętra triasowego. Zlikwidowane zostało także lokalne ujęcie Pawłowice. W związku z powyższym udział wód

Fig. 1. Schemat systemu zaopatrzenia Wrocławia w wodę (Gurwin i in., 1995; Mądrala i in., 2001)

1 – przepompownie wód z Nysy Kłodzkiej, 2 – ujęcie Obórki, 3 – ujęcie Jaczkowice, 4 – tereny wodonośne Wrocławia, 5 – granica ujęcia infiltracyjnego, 6 – ujęcie wód powierzchniowych Czechnica, 7 – stawy infiltracyjne, 8 – studnie, 9 – rurociąg magistralny, 10 – zakład produkcji wody Mokry Dwór, 11 – zakład produkcji wody Na Grobli

A scheme of the Wrocław water supply system (after Gurwin *et al.*, 1995; Mądrala *et al.*, 2001)

1 – water transfer from the Nysa Kłodzka River, 2 – Obórki water intake, 3 – Jaczkowice water intake, 4 – Wrocław water intake area, 5 – border of infiltrating water intake area, 6 – Czechnica surface water intake, 7 – infiltration ponds, 8 – exploitation wells, 9 – major water pipeline, 10 – water plant Mokry Dwór, 11 – water plant Na Grobli



podziemnych w zaopatrzeniu miasta może być z powodzeniem zwiększony oraz wzbogacony poprzez wykorzystanie dobrej jakości wód podziemnych ze struktur kenozoicznych i triasowych, rozmieszczonych głównie poza obszarem miejskim.

Aktualne stanowisko władz miasta opiera się na mylnym przekonaniu, że Wrocław nie ma zasobów wód podziemnych przydatnych do celów komunalnych. Dzieje się to w okresie, kiedy wszyscy zdają sobie sprawę z bezradności miasta w obliczu ewentualnej katastrofy ekologicznej lub działań terrorystycznych. Słabość systemu zaopatrzenia Wrocławia w wodę została obnażona podczas wielkiej powodzi w lipcu 1997 r., kiedy to miasto prawie przez miesiąc pozbawione było wody pitnej, którą awaryjnie dowożono właśnie ze studni głębinowych zakładów przemysłowych.

Jednak przez najbliższe lata podstawowym źródłem wody dla Wrocławia będą wody powierzchniowe, ponieważ

miasto zainwestowało znaczne środki w modernizację systemu pozyskiwania z rzek wody surowej (głównie z funduszy unijnych). Wydaje się jednak, że część środków można z powodzeniem przeznaczyć na stopniowe zastępowanie surowca pobieranego z rzek wodami podziemnymi (jako źródła dodatkowego, wykorzystywanego w celach awaryjnych oraz ze względu na bezpieczeństwo dostawy wody). Obecnie nie ma możliwości zbudowania jednego ujęcia miejskiego bazującego na wodach podziemnych, o wydajności zaspokajającej perspektywiczne potrzeby całego Wrocławia. Najtrudniejsza pod tym względem jest sytuacja centrum miasta. Jednakże ujęcia satelitarne, połączone w jeden system mogą z powodzeniem zabezpieczyć potrzeby aglomeracji. Dzielnice peryferyjne mogą bazować albo na własnych ujęciach, albo wykorzystywać ujęcia oddalone o kilka do kilkunastu kilometrów od granic miasta.

ANALIZA KRAŻENIA WÓD PODZIEMNYCH I ZASOBÓW ZBIORNIKÓW WODONOŚNYCH W REJONIE WROCŁAWIA

Pierwsza koncepcja stworzenia alternatywnych źródeł zaopatrzenia w wodę podziemną dla Wrocławia została przedstawiona przez J. Kryzę, L. Poprawskiego i S. Staškę w latach 80. ubiegłego stulecia (Poprawski red., 1989b). Potwierdziły ją również późniejsze badania geologiczne (Kłapciński, 1983; Dokumentacja..., 1996, 2006; Kryza i in, 2001; Staško 2004; Gurwin, Serafin, 2007; Gurwin, w druku).

Oceny zasobowe regionu wrocławskiego dotyczyły głównie:

- doliny kopalnej Bogdaszowice–Radakowice,
- GZWP nr 322 Oleśnica wraz z dolinami kopalnymi nieciszowską i oleśnicką (Gurwin, Serafin, 2007),
- GZWP nr 319 Prochowice–Środa Śl.–Jarosłów,
- GZWP nr 321 Kąty Wrocławskie–Jelcz–Oława (część wschodnia – Gurwin, w druku).

Zbiornik GZWP 322 położony jest w powiecie oleśnickim, ok. 15 km na północny wschód od Wrocławia, a wschodnia część GZWP 321 – na południowy wschód od granic Wrocławia po Brzeg (fig. 2). Zbiorniki te wraz ze strukturą Bogdaszowic, zlokalizowaną na zachodzie i włączoną do GZWP 319, zostały uznane za potencjalne źródła zaopatrzenia aglomeracji wrocławskiej w wodę. Na układ wymienionych zbiorników nakłada się również czwartorzędowy GZWP 320 związany z pradoliną Odry. Należy zaznaczyć, że w 2001 r. Komisja Dokumentacji Hydrogeologicznych przy Ministrze Środowiska uznała, że zachodni fragment GZWP 321 zostaje włączony (wraz ze strukturą bogdaszowicką) do GZWP 319 Prochowice–Środa Śl., natomiast pozostałą część skreślono z rejestru GZWP.

Analizowany obszar byłej wschodniej części GZWP 321 wynosi 356 km². Obliczony na podstawie symulacji dla warunków ustalonych całkowity moduł odnawialności dla obszaru bilansowego modelu wynosi 1,40 l/s km² (5 m³/h km²). Moduł odnawialności infiltracyjnej ustalono na 0,65 l/s km²

(Gurwin, w druku). Jest to obszar regionalnej strefy drenażu Odry, w której wody podziemne mogą zostać przejęte ujęciami bez szkody dla odnawialności systemu (i obszarów sąsiednich), toteż zaproponowano przyjęcie wielkości zasobów dyspozycyjnych zbiornika na poziomie wartości całkowitych dopływów określonych na modelu. Na podstawie symulacji prognostycznych maksymalnej możliwej eksploatacji zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zbiornika neogeńskiego ustalono na 99 200 m³/d.

W przypadku GZWP 322 oceny zasobowe wód podziemnych oparto również na wynikach numerycznego modelu filtracji, całkowity moduł odnawialności dla obszaru bilansowego wyniósł 1,85 l/s km² (6,6 m³/h km²) (Gurwin, Serafin, 2007). W symulacjach optymalizacyjnych, mających na celu oszacowanie wielkości zasobów dyspozycyjnych, w poszczególnych ujęciach wprowadzano wartości niższe od zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych, by równocześnie nie przekraczać przyjętego poziomu odnawialności systemu wodonośnego. W kolejnych symulacjach kontrolowano obniżenia wysokości hydraulicznych i na tej podstawie zestawiono ostateczny bilans przepływów wód podziemnych. Nastąpił niewielki wzrost dopływów bocznych (ok. 6%), przy jednoczesnej redukcji o 41% odpływów poza granice zbiornika. Charakterystyczny jest znaczący przyrost zasilania z cieków i obniżenie drenażu rzecznoego. Ostatecznie symulacje wykazały, że zasoby dyspozycyjne zbiornika GZWP 322 można przyjąć na poziomie 39 162 m³/d.

We wcześniejszych badaniach obszaru oleśnicko-nieciszowskiego (Staško, 2004), w innych granicach i przy innej schematyzacji modelu, wskazano w tym rejonie na możliwości ujęcia wód z wydajnościami nawet rzędu 51 tys. m³/d, co dodatkowo potwierdza możliwość uzupełnienia zaopatrzenia w wodę z GZWP 322.

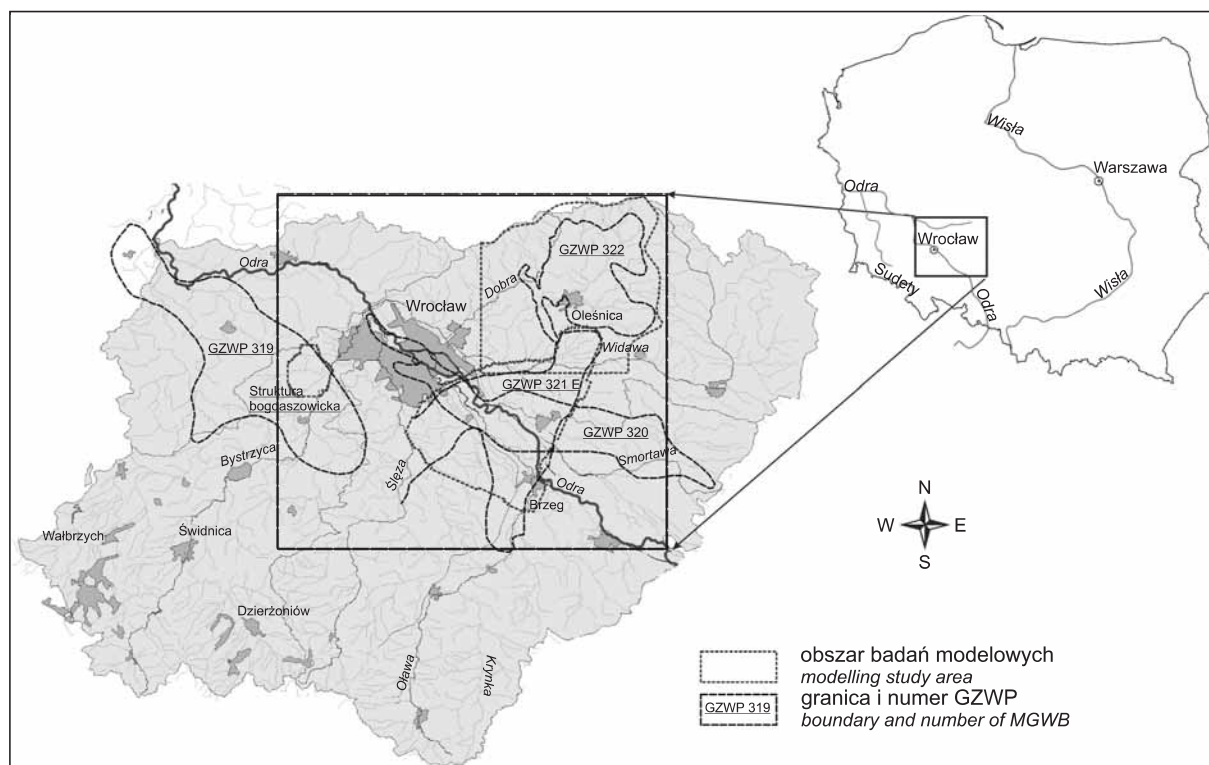


Fig. 2. Lokalizacja obszarów badań na tle układu hydrograficznego

Location of study areas against the hydrographical background

NUMERYCZNY MODEL FILTRACJI WÓD PODZIEMNYCH STRUKTURY BOGDASZOWIC

Numeryczny model ujęcia wód podziemnych Radakowice w strukturze Bogdaszowic obejmuje powierzchnię 127 km². Obszar jest drenowany przez Bystrzycę i Strzegomkę na południowym wschodzie (fig. 2) oraz przez mniejsze cieki: Karczycki Potok w centrum obszaru, Brzezinka na północy i inne cieki bez nazwy. Powierzchnia terenu obniża się od zachodu ku wschodowi, od 150–165 do ok. 120 m n.p.m.

Układ hydrostrukturalny i hydrodynamiczny wód podziemnych odwzorowano na modelu wielowarstwowym, składającym się z trzech warstw symulujących poziomy wodonośny, z dowiązanymi do nich parametrami przesączania dwóch warstw rozdzielających. Jest to rozwiązanie optymalne w warunkach istniejącego rozpoznania. Czwartorzędowe piętro wodonośne odgrywa główną rolę w kształtowaniu lokalnych warunków hydrogeologicznych ze względu na dolinę kopalną wypełnioną osadami piaszczysto-żwirowymi o wysokiej wodoprzewodności, dochodzącej do kilku tysięcy m²/d.

Metoda numerycznego modelowania została zastosowana w obszarze ujęcia Radakowice w celu prawidłowego odwzorowania rozkładu strumieni wód podziemnych dla zadanych warunków zasilania i drenażu, by na tej podstawie przeprowadzić symulacje prognostyczne eksploatacji studni. Prześledzone zostały zmiany hydrodynamiczne w wielowar-

stwowym układzie krążenia wód podziemnych i wpływ skopionej eksploatacji na bilans i zasoby wodonośnej struktury bogdaszowickiej (fig. 3). Użytkowy poziom wodonośny traktowano łącznie jako utwory doliny kopalnej i poziomu neogeńskiego. Mapa hydroizohips odzwierciedla układ hydrodynamiczny dla warunków aktualnego, niewielkiego poboru wód podziemnych. Kierunki filtracji wód podziemnych wskazują na odpływ wód ku wschodowi i północy. Wartości wysokości hydraulicznej maleją od 138 m n.p.m. na SW do 120 m n.p.m. na E – w rejonie odpływu Bystrzycy z obszaru. Podobnie układu się zwierciadło wód podziemnych drugiego poziomu wodonośnego neogenu, którego drenaż również następuje w dolinie Bystrzycy.

Obliczony na podstawie symulacji całkowity moduł odnawialności dla obszaru bilansowego według stanu quasi-naturalnego wynosi 5,5 l/s km² (19,7 m³/h km²). Zasoby odnawialne, jako suma wszystkich dopływów, wynoszą 60 238 m³/d. Wielkość tych zasobów zależy od infiltracji efektywnej, która stanowi 56% całkowitej odnawialności wód podziemnych, jak też od dopływów bocznych, na które składają się dopływy od południa i od zachodu. Moduł odnawialności infiltracyjnej (do I i II warstwy) ustalono na 3,0 l/s km². Jest to wartość właściwa dla obszaru obejmującego na dużej powierzchni strefę alimentacji wód podziemnych.

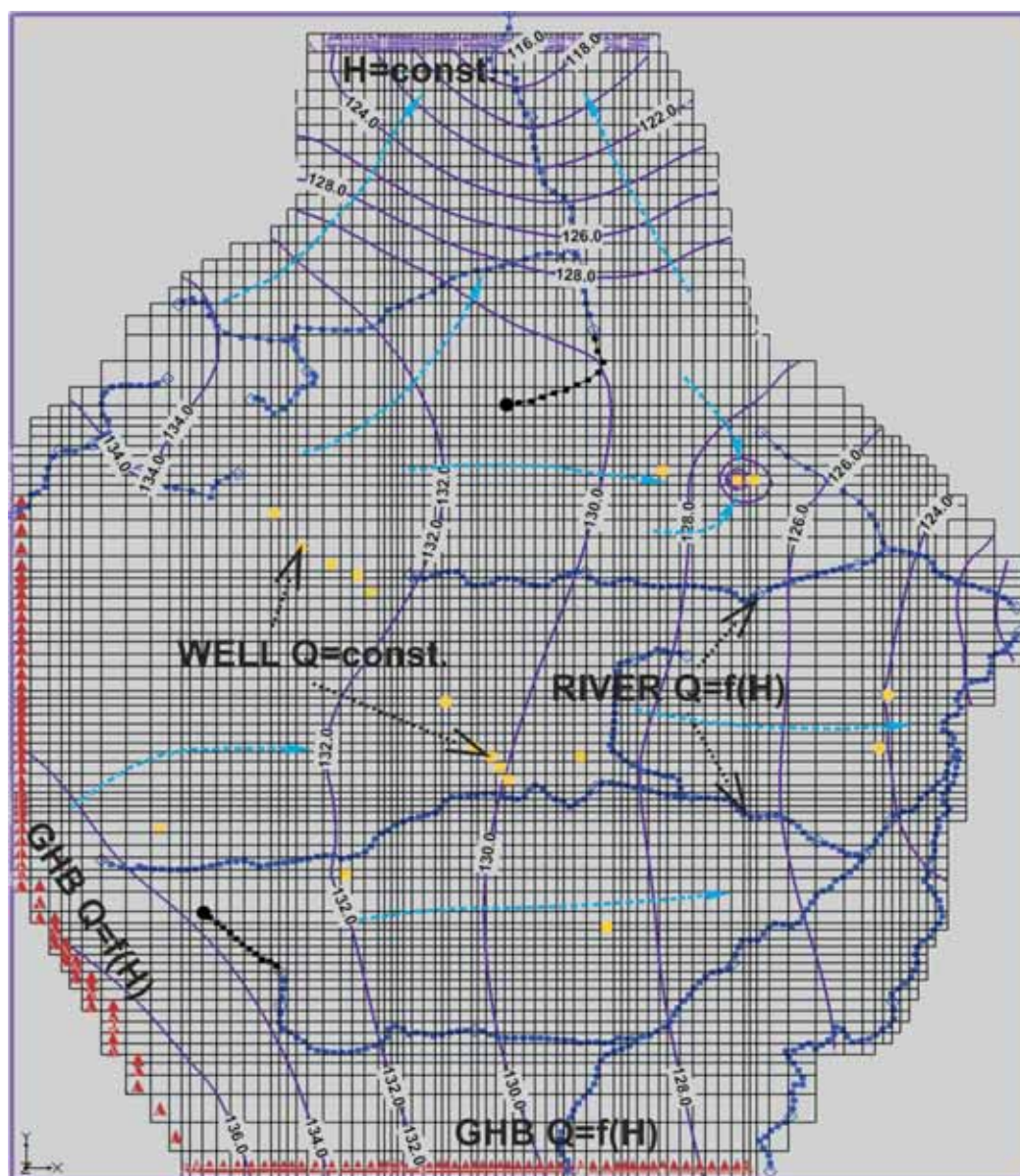


Fig. 3. Warunki brzegowe i rozkład wysokości hydraulicznych użytkowego poziomu wodonośnego według kalibracji modelu dla warunków eksploatacji z 2001 r.

Boundary conditions and head distribution of the major aquifer according to model calibration with groundwater exploitation from 2001

Dla dwóch głównych poziomów wodonośnych oszacowano:

– moduł całkowitego zasilania warstwy II – użytkowy poziom wodonośny Q/Tr (infiltracja + dopływy boczne + ascencja w strefie drenażu), który wynosi $3,36 \text{ l/s km}^2$ ($12,1 \text{ m}^3/\text{h km}^2$);

– moduł całkowitego zasilania warstwy III – dolny poziom wodonośny Tr (dopływy boczne + przesączanie z góry), który wynosi $0,42 \text{ l/s km}^2$.

W przypadku warstwy II (użytkowej) 63% zasilania stanowi przesączanie z warstwy I poprzez warstwę glin lub ilów, czyli z nieciągłego poziomu przypowierzchniowego.

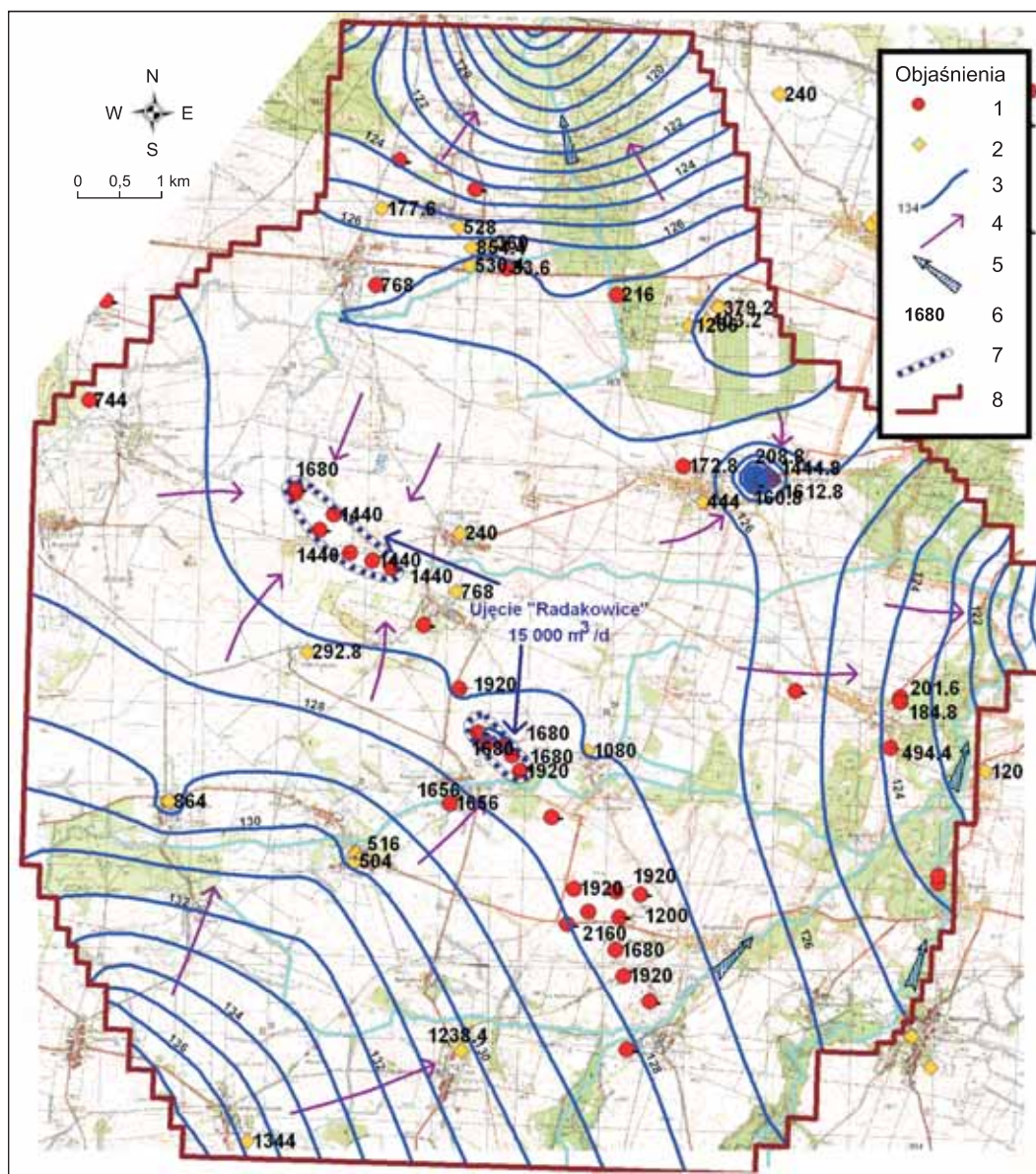


Fig. 4. Rozkład wysokości hydraulicznych użytkowego poziomu wodonośnego według symulacji modelu dla warunków prognozowanej eksploatacji ujęcia

1 – otwory ujmujące utwory czwartorzędowe, 2 – otwory ujmujące utwory neogenu, 3 – hydroizohipsy, 4 – kierunki przepływu wód podziemnych, 5 – główne osie drenażu, 6 – zasoby eksploatacyjne ujęć, 7 – obszar ujęcia Radakowice, 8 – granica modelu

Head contour map of the major aquifer according to model simulation for prognostic exploitation

1 – intakes of Quaternary aquifer, 2 – intakes of Neogene aquifer, 3 – hydroizohypses, 4 – directions of groundwater outflow, 5 – major drainage axes, 6 – extractable groundwater resources of intakes, 7 – Radakowice intake area, 8 – model boundary

SYMULACJE PROGNOSTYCZNE EKSPLOATACJI UJĘĆ WÓD PODZIEMNYCH

Na wykalibrowanym modelu przeprowadzono symulację z uwzględnieniem ujęcia wód podziemnych Radakowice. Ujęcie to zostało zaplanowane na bazie istniejących studni z sumaryczną wielkością poboru 15 tys. m³/d. Przewiduje się,

że ujęcie będzie się składało z 10 studni – w grupach po pięć na południe i na północ od wsi Łowęcice koło Radakowice.

Ze względu na usytuowanie ujęcia w strefie zasilania, przed aktywacją studni na modelu postanowiono zmodyfikować warunki brzegowe modelu. Należało bowiem uwzględnić możliwość lokalnego osuszenia poziomu przy powierzchniowego oraz wysychania cieków w tej części obszaru. Mniejsze ciek w okresie suchym nie prowadzą wody,

Tabela 1**Wyniki symulacji modelu w zakresie optymalizacji zasobowej ujęcia**

Results of model simulation in optimisation conditions of groundwater intake

Powierzchnia obszaru bilansowego modelu	127 km ²	
Warunki według aktualnego stanu		
	[l/s km ²]	[m ³ /h km ²]
UŻYTKOWY POZIOM Q/Tr		
Moduł całkowitego zasilania	3,36	12,1
Moduł odnawialności z przesączania	2,40	8,63
DOLNY POZIOM Tr		
Moduł całkowitego zasilania	0,42	1,51
Moduł odnawialności z przesączania	0,35	1,26
Optymalizacja zasobowa użytkowego poziomu wodonośnego		
Zasoby dyspozycyjne zbiornika	28 773 m ³ /d	
Moduł całkowitej odnawialności	3,73 l/s km ²	
Moduł zasobów dyspozycyjnych	2,62 l/s km ²	
Stopień wykorzystania zasobów wód podziemnych zbiornika		
	aktualny	prognozowany
Pobór wód podziemnych	6706 m ³ /d	21 706 m ³ /d
Wykorzystanie zasobów	23%	75%

dlatego odwzorowano je pakietem DRAIN (McDonald, Harbaugh, 1988). Po dokonanych zmianach zasilanie infiltracyjne w większym stopniu nastąpiło bezpośrednio do warstwy II (przy zredukowanych wartościach rzędu $1-5 \cdot 10^{-6}$ m/d), natomiast zmniejszeniu uległo ogólne zasilanie warstwy I ze względu na inny zasięg po osuszeniu bloków. Wyraźnie zmieniły się składniki bilansowe; eksploatacja w poziomie użytkowym spowodowała przyrost dopływów bocznych do wartości 4604 m³/d, przy jednoczesnym zmniejszeniu o ok. 50% odpływu poza granice obszaru. Redukcji uległa również wartość przesączania do warstw sąsiednich. Zmniejszenie wysokości hydraulicznych spowodowało także zwiększenie infiltracji z rzek do poziomu 27 235 m³/d, przy jednoczesnym spadku drenażu do 25 371 m³/d. Należy zwrócić uwagę, że po uwzględnieniu na modelu poziomu przypowierzchniowego wartości te odnoszą się właśnie do kontaktu z tym poziomem.

Zaobserwowane zmiany w układzie hydrodynamicznym to znaczne osuszenie poziomu przypowierzchniowego w strefie zasilania oraz powstanie leja depresji w warstwie II, który z uwagi na bardzo wysoką wodoprzewodność osadów w dolinie kopalnej (kilka tysięcy m²/d przy miąższości 60–90 m) ma kształt owalny, spłaszczony, wyciągnięty w osi NW–SE (fig. 4). Obniżenia zwierciadła piezometrycznego wyniosły 8–10 m. Zasoby dyspozycyjne ustalono na 28 773 m³/d (tab. 1)

MOŻLIWOŚCI ALTERNATYWNEGO ZAOPATRZENIA WROCŁAWIA W WODY PODZIEMNE

Analiza stanu rozpoznania zasobów dyspozycyjnych i eksploatacyjnych wód podziemnych w wytypowanych obszarach perspektywicznych wykazała, że główne zasoby zwykłych wód podziemnych regionu wrocławskiego występują w kenozoiku. W opisanych strukturach wodonośnych występują zasoby dyspozycyjne wód podziemnych w ilości 120–170 tys. m³/d.

Ważną rolę pełnią zbiorniki związane z plejstoceńskimi dolinami kopalnymi i plioceńskimi poziomami wodonośnymi. W tych formacjach geologicznych wydzielono główne zbiorniki wód podziemnych o numerach 319, 321, 322. Potwierdzono też szczególną przydatność, jako potencjalnego źródła zaopatrzenia Wrocławia w wodę, struktur: Bogdaszo-

wice–Radakowice oraz Oleśnica–Nieciszów. Przeanalizowano informacje z 2200 otworów hydrogeologicznych. Jak wspomniano, obecnie w regionie wrocławskim, poza obszarem miasta, wykorzystanie wód podziemnych jest niewielkie. Duża część zasobów z powodzeniem może być przeznaczona do zaopatrzenia w wodę samego Wrocławia.

Na podstawie rozpoznania hydrogeologicznego, udokumentowanych zasobów i optymalizacji pracy ujęć na numerycznych modelach filtracji dla wydzielonych sześciu obszarów wodociągowych przedłożono propozycję budowy ujęć wód podziemnych. Są to następujące wytypowane obszary ujęć: Karczyce–Radakowice, Żórawina, Nadolice, Oleśnica, Cesarzowice–Rakoszyce, Brodno.

PODSUMOWANIE

Wyniki symulacji numerycznych jednoznacznie wskazują na możliwości eksploatacji wód podziemnych w ilości odpowiedniej dla zaopatrzenia mieszkańców Wrocławia. Ustalone zasoby, a także już istniejąca infrastruktura mogą być wykorzystane w celu uzupełnienia istniejącego systemu wodami dobrej jakości ze zbiorników wód podziemnych.

W przypadku perspektywicznej struktury wodonośnej Bogdaszowic zasoby dyspozycyjne ustalono na 28 773 m³/d, przy module całkowitego zasilania użytkowego poziomu wodonośnego wynoszącym 3,36 l/s km². Aktualny pobór wód podziemnych stanowi ok. 23% zasobów, a po uruchomieniu ujęcia wartość ta wzrosłaby do 75%.

W opisanych strukturach wodonośnych występują zasoby dyspozycyjne wód podziemnych łącznie w ilości ok. 120–170 tys. m³/d. Na tej podstawie opracowano koncepcję

budowy ujęć wód podziemnych. Wykonane modele numeryczne zbiorników umożliwiają również rozpatrzenie przydatności innych wariantów lokalizacji ujęć.

LITERATURA

- DOKUMENTACJA hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych w utworach czwartorzędu, trzeciorzęd i triasu rejonu niecki wrocławskiej z uwzględnieniem GZWP. P.G. „Proxima” S.A., Wrocław, 1996.
- DOKUMENTACJA hydrogeologiczna określająca warunki hydrogeologiczne dla ustanowienia obszaru ochronnego zbiornika wód podziemnych Oleśnica (GZWP nr 322). P.G. „Proxima” S.A., Wrocław, 2006.
- GURWIN J., w druku – Numeryczny model filtracji systemu wodonośnego wschodniej części GZWP nr 321. *Z. Nauk. PWroc.*
- GURWIN J., POPRAWSKI L., SZCZEPIŃSKI J., WĄSIK M., 1995 – Regionalny model numeryczny zlewni rzeki Oławy. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*, t. 7: 141–154. Kraków–Krynica.
- GURWIN J., SERAFIN R., 2007 – Numeryczny model filtracji systemu wodonośnego GZWP 322 Oleśnica. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*, t. 13: 655–666. AGH, Kraków.
- KLECZKOWSKI A.S., (red.), 1990 – Mapa obszarów Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony, 1:500 000. AGH, Kraków.
- KŁAPCIŃSKI J., 1983 – Perspektywy uzyskania wód podziemnych między Wrocławiem a Brzegiem dla miasta Wrocławia. *Mat. II Symp. Współczesne problemy hydrogeologii regionalnej*: 390–403. Wyd. Uwroc. Wrocław.
- KRYZA J., POPRAWSKI L., SACHANBIŃSKI M., STAŚKO S., GURWIN J., KRYZA H., SZPONAR A., 2001 – Analiza aktualnego stanu rozpoznania warunków hydrogeologicznych rejonu wrocławskiego oraz wytypowanie zbiorników wód podziemnych i struktur wodonośnych dla alternatywnego zaopatrzenia w wodę miasta Wrocławia. *Arch. ING UWroc.*, Wrocław.
- MĄDRALA M., POPRAWSKI L., REJMAN W., 2001 – Zróżnicowanie środowiska hydrogeochemicznego utworów czwartorzędowych w wybranych obszarach zlewni wodociągowej miasta Wrocławia. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*, t. 10, cz. 1: 347–356. Wrocław.
- MCDONALD M.G., HARBAUGH A.W., 1988 – A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. U.S. Geological Survey Open-File Report, Washington.
- POPRAWSKI L., 1989a – O warunkach występowania wód podziemnych miasta Wrocławia (opracowanie artykułu niemieckiego z 1906 r.). *Materiały konferencji „Alternatywne źródła zaopatrzenia Wrocławia w wodę”*: 141–153. Wrocław.
- POPRAWSKI L. (red.), 1989b – Alternatywne źródła zaopatrzenia Wrocławia w wodę. *Mat. konf.* Wrocław.
- STAŚKO S., 2004 – Modele warstwowe czy zespolone? Doświadczenia w trakcie modelowania zlewni Łupawy i obszaru oleśnicko-nieciszwoskiego. *Acta Univ. Wratisl.*, 2729: 225–237.