

OPTIMALIZACJA LOKALIZACJI UJĘCIA WÓD PODZIEMNYCH ZAWADA K. OPOLA W PROGNOZACH MODELOWYCH

IMPROVEMENT OF WATER INTAKE LOCATION AT ZAWADA NEAR OPOLE USING FICTIVE GROUNDWATER FLOW MODELS

MARIUSZ MAĐRALA¹, MIROSLAW WĄSIK¹

Abstrakt. Odległość bariery studni od rzeki oraz parametry techniczne studni na ujęciach infiltracyjnych należy projektować uwzględniając optymalną infiltrację i retencję wód z rzeki oraz długości dróg przepływu. Do badań modelowych wykorzystano barierę 18 studni ujęcia infiltracyjnego w Zawadzie koło Opola, położonego w zlewni Jemielnicy. Wykonany numeryczny model filtracji wód w omawianym rejonie umożliwił wykonanie szeregu symulacji poboru wód uwzględniających zmianę położenia bariery studni, jej wydajności oraz zmianę udziału wód rzecznych w bilansie ujęcia. Analiza poszczególnych symulacji warunków eksploatacji pozwoliła odpowiedzieć na pytanie, czy istnieje możliwość eksploatacji lepszych jakościowo wód podziemnych.

Słowa kluczowe: ujęcie infiltracyjne, modelowanie numeryczne, wody podziemne, zasoby wód podziemnych, ujęcie Zawada.

Abstract. The distance between production wells and riverbank and well construction has a favorable influence effect on preferred retention times and flow path length. RBF system at Zawada near Opole was used as a case study. The group of 18 vertical wells have been built along riverbank of Jemielnica River. The possible influence of well location on the proportion of riverbank filtrate has been calculated by a simple, fictive groundwater flow models using MODFLOW. The analysis of these fictive groundwater flow models allow to determine impact of RBF scheme at Zawada Waterwork on improving productivity and the quality of pumped water.

Key words: RBF intake, numerical modelling, groundwater, groundwater resources, Zawada intake.

WSTĘP

Na ujęciach infiltracyjnych w dolinach rzecznych stopień rozpoznania warunków krążenia wód i parametrów hydrogeologicznych wpływa zasadniczo na wielkość eksploatacji oraz jakość ujmowanych wód. W większości ujęć, odległość bariery studni od rzeki, a co za tym idzie również czas przepływu wód z rzeki do ujęcia są najważniejszymi czynnikami wpływającymi na jakość ujmowanych wód. Odległość bariery studni od rzeki oraz parametry technicz-

ne studni należy projektować uwzględniając optymalną infiltrację i retencję wód z rzeki oraz długości dróg przepływu (Griseček i in., 2003). Wielkość retencji wód rzecznych w warstwie wodonośnej zależy wprost od czasu przepływu wód z rzeki do ujęcia. Odpowiedni czas i długość dróg przepływu wód umożliwia usuwanie zanieczyszczeń biodegradowalnych, wirusów i innych patogenów. Według badań Schuberta (2000) czas retencji wynoszący 50 dni jest

¹ Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, Zakład Hydrogeologii Stosowanej, Pl. Maxa Borna 9, 50-205 Wrocław;
e-mail: mariusz.madrala@ing.uni.wroc.pl, mirosław.wasik@ing.uni.wroc.pl

wystarczający do usunięcia z wód większości wirusów i patogenów. Zatem dla określenia optymalnej pracy ujęcia infiltracyjnego niezbędna jest analiza linii prądu, wielkości infiltracji brzegowej oraz wodoprzewodności warstwy wodonośnej z wykorzystaniem metody numerycznego modelowania filtracji. Do badań modelowych wykorzystano barierę studni ujęcia infiltracyjnego w Zawadzie koło Opola (fig. 1). Ujęcie zlokalizowane jest w zlewni Jemielnicy, w obrębie GZWP nr 334 dolina kopalna Małej Panwi. Ocena warunków hydrogeologicznych doliny kopalnej w aspekcie wykorzystania wód podziemnych była przed-

miotem szeregu wcześniejszych publikacji (Kryza, 1976, 1983, 1984; Kryza i in., 1995). Na ujęcie składa się bariera 18 studni położonych w odległości około 50–200 m od rzeki o średnich wydajnościach od 30 do 120 m³/h.

W ramach pracy badawczej wykonany został ustalony numeryczny model filtracji wód w rejonie ujęcia. Przeprowadzona analiza kilku wariantów eksploatacji pozwoliła odpowiedzieć na pytanie, czy istnieje możliwość eksploatacji lepszych jakościowo wód podziemnych, z ograniczeniem infiltracji do ujęcia zanieczyszczonych wód powierzchniowych.

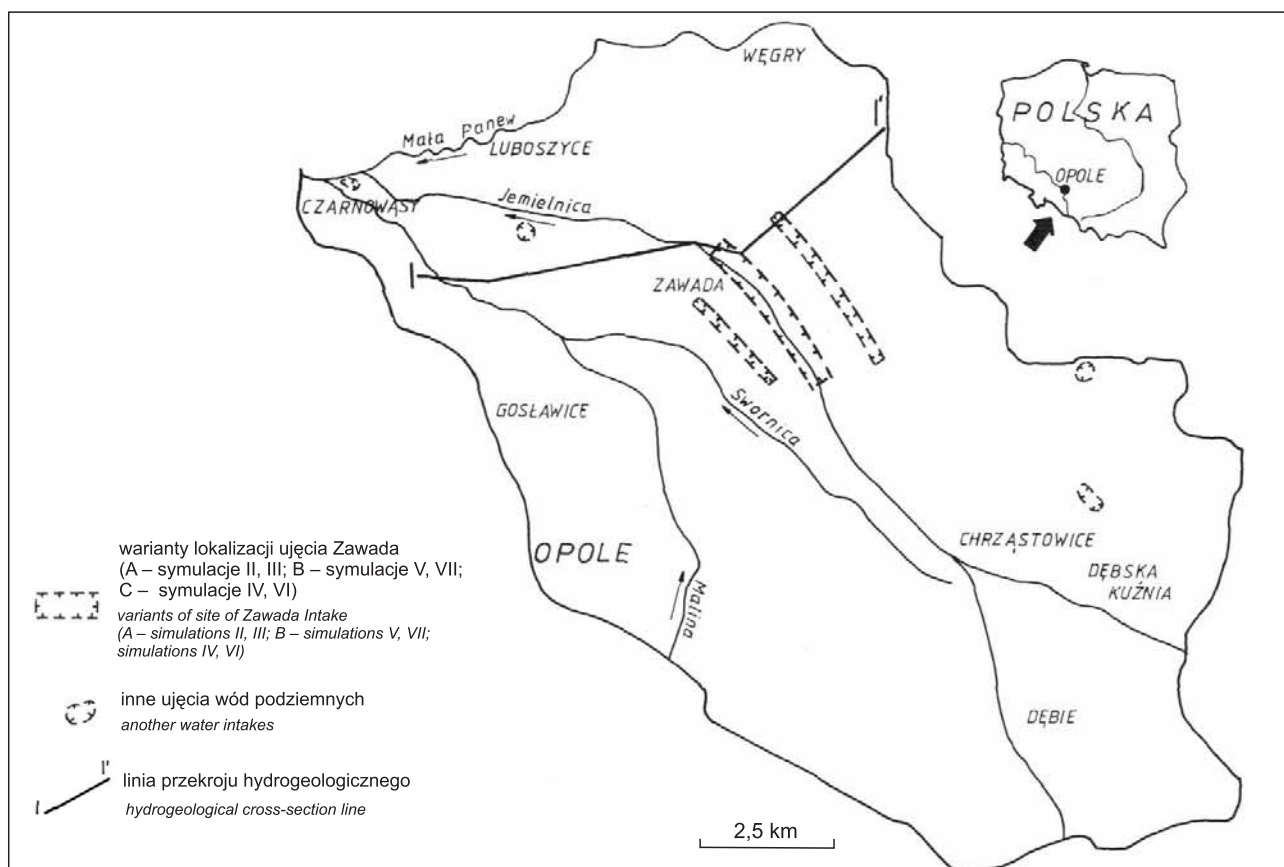


Fig. 1. Mapa lokalizacji ujęcia

Map of water intakes location

CHARAKTERYSTYKA WARUNKÓW PRZYRODNICZYCH

Pod względem morfologicznym modelowany obszar jest usytuowany na granicy Pradoliny Wrocławskiej i Równiny Opolskiej. Jego powierzchnia jest łagodnie pofalowana i nachylona ku północnemu zachodowi oraz ku dolinie Odry. Rzędne terenu wahają się od 151 m n.p.m. w północnej części obszaru do około 175 m n.p.m. na południu. Ujęcie w Zawadzie jest położone w międzyrzeczu Odry i Małej Panwi.

Przez międzyrzecze przepływają Jemielnica, Swornica, Sucha i Malina.

Średnia temperatura roczna powietrza na obszarze badań wynosi 8,2°C, przy czym średnie najniższe temperatury dobowe (–1,2°C) przypadają na styczeń, a najwyższe (17,4°C) – na lipiec. Średnia suma opadu z wielolecia 1961–1985 wynosi 675 mm. Największe opady występują w lipcu (88 mm),

natomiast najmniejsze w lutym (26 mm). Parowanie terenowe ocenia się na 450–500 mm/rok.

Pod względem geologicznym obszar ujęcia znajduje się na monoklinie przedsudeckiej oraz w NE części niecki opolskiej (Biernat, 1968; Trzepla, 1988a, b; Badura, Przybylski, 2009a, b). W podłożu monokliny występują utwory paleozoiczne. Najgłębiej rozpoznane są dolnokarbońskie szarogłazy i łupki oraz staropaleozoiczne gnejsy. Powyżej niezgodnie zalegają piaskowce, zlepieńce i iłowce czerwonego spagowca. Sedymentację mezozoiczną rozpoczynają utwory pstrego piaskowca, wykształcone jako piaskowce, iłowki, margle, dolomity i wapienie. Trias środkowy reprezentują osady węglanowe wapienia muszlowego. Powyżej zalegają

iłły, margle, piaskowce i wapienie dolomityczne górnego triasu (kajpru). Osady niecki opolskiej rozpoczynają się piaskami i piaskowcami cenomanu, na których spoczywają wapienie margliste turonu. Utwory triasu i kredy są przykryte przez osady neogeńskie oraz czwartorzędowe. Osady mio-cenu i pliocenu reprezentują iłły oraz mułki z przewarstwieniami piaszczystymi i cienkimi pokładami węgla brunatnych formacji poznańskiej oraz gozdnickiej. W plejstocenie obszar ten był co najmniej dwukrotnie przykryty lądolodami podczas zlodowaceń południowopolskich oraz zlodowacenia odry. Osady zlodowaceń południowopolskich zachowały się w postaci piasków, żwirów, glin i mułków rynien subglacialnych, w tym rynny Zawady (dawna dolina ko-

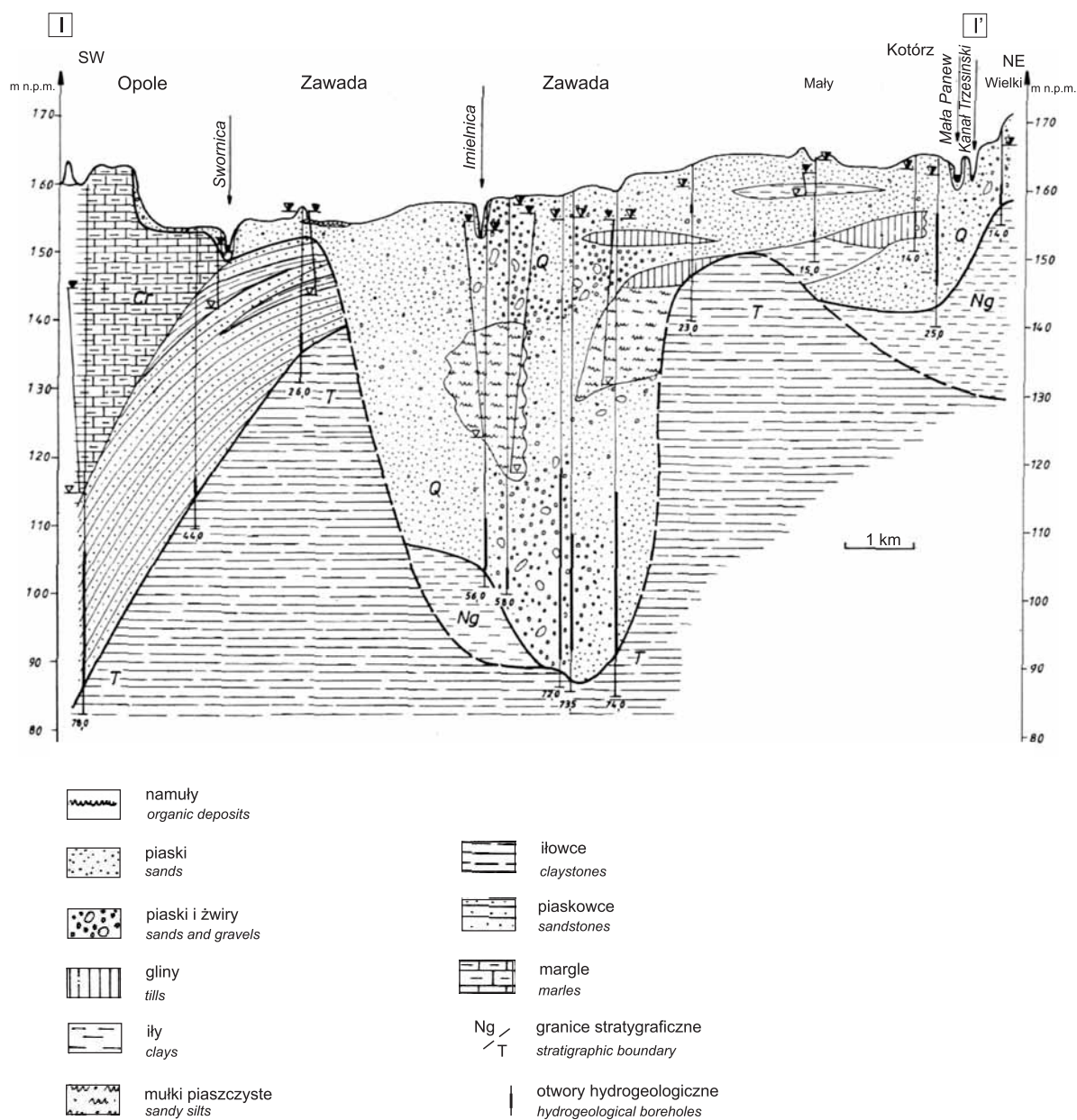


Fig. 2. Przekrój hydrogeologiczny

Hydrogeological cross-section

palna Małej Panwi; fig. 2). Powyżej zalegają piaski i żwiry wodnolodowcowe zlodowacenia odry. Sedymentację plejstoceniową kończą piaski i żwiry rzeczne tarasów nadzalewowych zlodowacenia warty. Współczesne osady holoceniowe tworzą piaski, żwiry i mady tarasów zalewowych (fig. 2).

Wody podziemne w rejonie ujęcia w Zawadzie występują w utworach kenozoiku, kredy i triasu (Kończkowski, 1986; Bielecka, 1997; Górnik, 2000). W osadach czwartorzędowych, występujących prawie na całym obszarze, można wyróżnić dwa poziomy wodonośne. Górny poziom tworzą utwory piaszczysto-żwirowe pochodzenia rzeczno-lodowcowego i lodowcowego. Miąższość poziomu wodonośnego wynosi od kilku do kilkunastu metrów. Występowanie dolnego poziomu czwartorzędowego ogranicza się w zasadzie do obrębu rynn subglacialnej Zawady. Poziom ten tworzą utwory piaszczysto-żwirowe zalegające poniżej dolnego poziomu glin zwałowych i mułków zlodowacenia środkowopolskiego. Obydwa poziomy wykazują silny kontakt hydrauliczny ze względu na dość wysoką przepuszczalność pylasto-piaszczystej warstwy rozdzielającej oraz jej zmienną miąższość, lokalnie zredukowaną do zera (fig. 2). Zasilanie poziomów czwartorzędowych odbywa się poprzez infiltrację wód opadowych i powierzchniowych. Zwierciadło wody ma na ogół charakter swobodny i znajduje się na głębokości od 1,0 do kilkunastu metrów, lokalnie ma charakter naporowy. Dla wodonośnych utworów czwar-

torzędowych wartość współczynnika filtracji wynosi od 16 do ponad 100 m/d. Wydajność z poszczególnych otworów waha się od kilkunastu do ponad 100 m³/h w strukturach kopalnych.

Neogeńskie piętro wodonośne jest związane z przewarskimi piaskami w kompleksie ilastym serii poznańskiej (Bielecka, 1997; Górnik, 2000). Utwory wodonośne występują w formie warstw i soczew o nieregularnym rozprzestrzenieniu, zróżnicowanym składzie granulometrycznym i zmiennych miąższościach, na głębokości od kilkunastu do 60 m.

Kredowe piętro wodonośne tworzą cenomańskie piaski i piaskowce związane ze wschodnią częścią depresji opolskiej (Bielecka, 1997; Górnik, 2000). Miąższość piaskowców cenomanu w rejonie Opola jest rzędu kilku metrów i wzrasta ku zachodowi do około 40 m. W strefie wychodni zwierciadło wody jest swobodne, w miarę obniżania się warstw piaskowców w kierunku zachodnim zwierciadło wody staje się subartezyjskie. Warstwa należąca do cenomanu jest zasilana w strefie wychodni poprzez infiltrację wód opadowych oraz przez ascenzyje wód triasowych.

Wody podziemne piaskowca występują w przeławieniach piaskowców i margli wśród osadów ilastych kajpru. W rejonie ujęcia Zawada, w utworach wapienia muszlowego, stwierdzono także poziom wodonośny na głębokości 240–280 m. Zwierciadło tego poziomu zalega na głębokości 22–31 m.

METODYKA BADAŃ

Badania modelowe zostały wykonane z wykorzystaniem programu MODFLOW (Pollock, 1988). Jednowarstwowy, stacjonarny model został wykonany dla obszaru o powierzchni 141,56 km², obejmującego dolne części zlewni rzek: Jemielnicy, Swornicy i Małej Panwi. Na podstawie mapy hydroizohips czwartorzędowego poziomu wodonośnego, wykonanej w modelu przyrodniczym, granicę modelu poprowadzono głównie wzdłuż wododziału wód podziemnych. Ponadto w części północnej granica modelu przebiega wzdłuż Małej Panwi, natomiast w części południowej w poprzek dolin rzek: Jemielnicy, Suchej i Maliny. Dyskretyzacja obszaru filtracji została wykonana jednolitą siatką kwadratową pól elementarnych o długości boku 100 m. Wyznaczono 14 001 aktywnych bloków obliczeniowych. Do konstrukcji modelu wykorzystano dane ze 156 otworów wiertniczych, w większości sięgających poniżej spągu modelowanej warstwy wodonośnej. Miąższość modelowanej warstwy zmienia się od 60–80 m w osi doliny kopalnej, do 2–10 m przy wschodniej i zachodniej granicy modelu. Wartości współczynnika filtracji przyjęto w zakresie 0,75–100 m/d.

W modelu zostały określone warunki brzegowe II i III rodzaju. Warunek brzegowy II rodzaju (Neumana) typu $Q = 0$ został przyjęty na przeważającej długości zewnętrznej granicy zachodniej, wschodniej i południowej oraz na po-

wierzchni spągu warstwy wodonośnej, którą stanowi strop słaboprzepuszczalnych czwartorzędowych glin zwałowych, iłów neogeńskich, turońskich margli oraz triasowych iłówców i margli. Warunek brzegowy II rodzaju typu $Q = \text{const.}$ odwzorowano w postaci stałego zasilania powierzchniowego jako infiltracja efektywna opadów w wysokości od 30 do 151 mm/rok.

Warunek ten przyjęto również jako stałe zasilanie spoza modelowanego obszaru w dolinach rzek: Jemielnicy, Suchej i Maliny oraz odwzorowano nim ujęcia wód podziemnych ujmujące wody czwartorzędowego piętra wodonośnego. Warunki brzegowe III rodzaju zastosowano w celu określenia udziału wód powierzchniowych w zasilaniu ujęcia Zawada. Został on poprowadzony na rzekach Jemielnicy, Swornicy, Maliny, Suchej i Małej Panwi.

Kalibracja modelu została wykonana metodą kolejnych przybliżeń dla aktualnej lokalizacji i wielkości eksploatacji ujęcia Zawada (9863 m³/d). W jej trakcie dokonano korekty przede wszystkim wartości współczynnika filtracji oraz wielkości zasilania infiltracyjnego w południowej części modelowanego obszaru. Do tarowania modelu wykorzystano informacje o położeniu zwierciadła wód podziemnych oraz wielkościach przepływów wód powierzchniowych Małej Panwi, Jemielnicy, Swornicy i Malinie (Kończkowski i in., 1988).

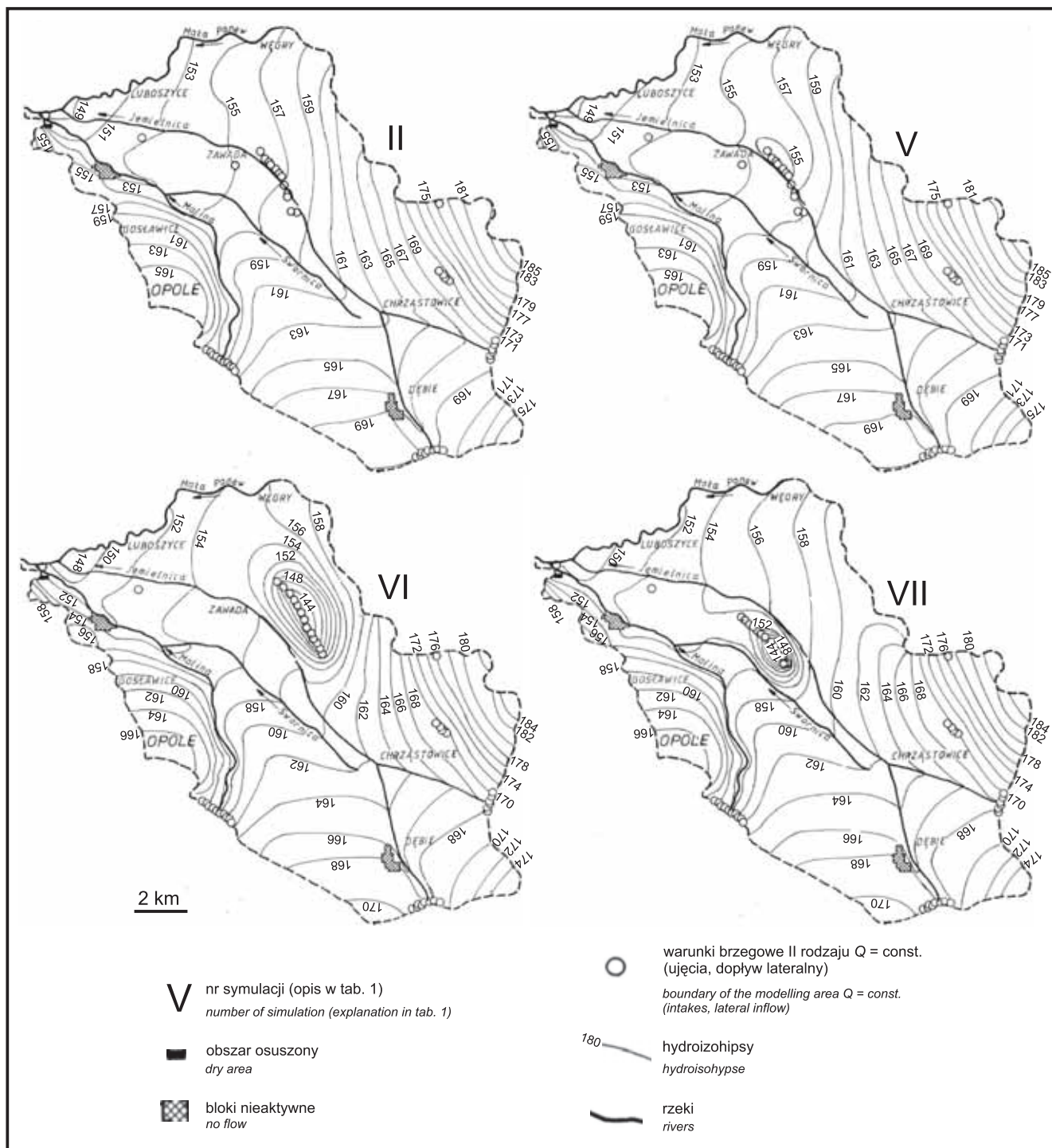


Fig. 3. Rozkłady wysokości hydraulicznej dla wybranych symulacji pracy ujęć wód podziemnych

Distribution of hydraulic head for selected simulations of groundwater intakes working

Wykalibrowany model stanowił bazę do kolejnych symulacji (tab. 1; fig. 1, 3). Wykonano łącznie sześć symulacji, w których założono trzy różne wydajności ujęcia (aktualną, maksymalną oraz zerową) oraz trzy różne jego lokalizacje (obecną, po zachodniej i wschodniej stronie Jemielnicy,

w odległościach 0,7–1 km; fig. 1). Zważywszy, że główną składową w zasilaniu ujęcia stanowi infiltracja wód powierzchniowych Jemielnicy, wydajność maksymalną ujęcia określono, uwzględniając wielkość jej przepływu dyspozycyjnego (31 104 m³/d; Kołaczkowski, 1986).

Tabela 1

Bilans przepływów wód podziemnych na podstawie badań modelowych
Water budget of groundwater flow from modelling research

Opis symulacji dla rejonu Zawady	Bilans przepływów wód podziemnych (wartości w m ³ /d)									
	infiltracja opadów atmosferycznych	dopływ boczny	infiltracja z rzek			drenaż rzek			eksploatacja ujęć	
			suma	Jemielnica	Swornica	suma	Jemielnica	Swornica	Zawada	inne
I – bez ujęcia Zawada	40 198	544	2 188	1 846	167	42 410	22 410	8 145	0	518
II – eksploatacja ujęcia Zawada w rzeczywistej lokalizacji z wydajnością wg stanu na 2010 r.	40 198	544	7 437	7 086	167	37 796	18 181	7 895	9 863	518
III – eksploatacja ujęcia Zawada w nowej lokalizacji na E od Jemielnicy z wydajnością wg stanu na 2010 r.	40 198	544	5 995	5 604	167	36 354	16 771	8 073	9 863	518
IV – eksploatacja ujęcia Zawada w nowej lokalizacji w międzyrzeczu Jemielnicy i Swornicy z wydajnością wg stanu na 2010 r.	40 198	544	6 137	5 208	753	36 496	18 406	6 340	9 863	518
V – eksploatacja ujęcia Zawada w rzeczywistej lokalizacji z określoną maksymalną wydajnością	40 198	544	31 831	31 431	192	35 353	16 563	7 240	36 700	518
VI – eksploatacja ujęcia Zawada w nowej lokalizacji na E od Jemielnicy z określoną maksymalną wydajnością	40 193	544	29 153	28 593	167	32 669	13 972	7 879	36 700	518
VII – eksploatacja ujęcia Zawada w nowej lokalizacji w międzyrzeczu Jemielnicy i Swornicy z określoną maksymalną wydajnością	40 198	544	28 140	23 010	5 735	31 662	14 358	5 106	36 700	518

Symulację wykonano w celu przetestowania różnych wariantów pracy ujęcia. Głównym założeniem było sprawdzenie możliwości eksploatacji lepszych wód o lepszej jako-

ści poprzez ograniczenie dopływu zanieczyszczonych wód powierzchniowych oraz maksymalne wydłużenie czasu dopływu wód powierzchniowych do poszczególnych studni.

WYNIKI BADAŃ MODELOWYCH

Na badanym obszarze największym ujęciem wód podziemnych prowadzącym eksploatację wód czwartorzędowego piętra wodonośnego w wysokości 9863 m³/d jest ujęcie w Zawadzie. Pozostałe cztery ujęcia pobierają łącznie 518 m³/d. Wszystkie ujęcia są położone w znacznej odległości od siebie, uniemożliwiającej wzajemne oddziaływanie.

Jako wyjściowa dla dalszych rozważań została przyjęta symulacja I, w której wyłączone zostało ujęcie w Zawadzie. W takich warunkach wody podziemne są drenowane głównie przez rzeki, w tym Jemielnicę przepływającą w rejonie Zawady. Z Jemielnicy w rejonie m. Zawada infiltruje 1846 m³/d, co jest efektem nieznacznie niższego położenia zwierciadła wód podziemnych w stosunku do rzędnych wód Jemielnicy (fig. 3). Na podstawie wykonanych obliczeń określono, że wody podziemne drenowane przez rzekę pokonują drogę 1 km w czasie 12–16 lat.

Po włączeniu ujęcia Zawada (symulacja II) w sposób znaczący zmieniły się warunki przepływu oraz bilans wód podziemnych. Ujęcie zlokalizowane w odległości do 200 m od Jemielnicy (poza 1 studnią położoną około 1 km na W od rzeki) wymusza infiltrację z rzeki w wysokości 5240 m³/d, co stanowi 53% wielkości prowadzonej eksploatacji.

Wielkość eksploatacji na obecnym poziomie nie powoduje wytworzenia klasycznego leja depresji. Zauważa się jedynie obniżenie zwierciadła wody w rejonie studni zwykle nie przekraczające 2 m. Obliczony na modelu czas dopływu wód podziemnych do poszczególnych studni ujęcia, zmienia się w zależności od ich położenia od 110–120 dni (studnie położone w odległości do 50 m od rzeki) przez 1–5 lat (studnie położone w odległości około 200 m od rzeki) do 8–10 lat (studnia położona 1 km od rzeki).

Symulacja III została wykonana dla ujęcia pracującego z tą samą wydajnością, ale zlokalizowanego około 1 km na wschód od Jemielnicy, w brzeżnej części doliny kopalnej (fig. 3). Uznano, że jest to maksymalne możliwe przesunięcie lokalizacji ujęcia w tym kierunku. Taka lokalizacja powoduje obniżenie udziału wód powierzchniowych w zasilaniu ujęcia do 38% oraz wydłużenie czasu ich dopływu do ujęcia od 14 do 50 lat. W symulacji IV ujęcie zostało przesunięte maksymalnie w kierunku zachodnim, tzn. ulokowane w połowie odległości między rzekami Jemielnica i Swornica. Zasilanie ujęcia poprzez infiltrację wód powierzchniowych wzrosło o 2%, przy czym dopływy z Jemielnicy zmalały o około 400 m³/d, natomiast uaktywniły się dopływy ze Swornicy w ilości około 600 m³/d (tab. 1). Wody z Jemielnicy dopływają do ujęcia w czasie 7–14 lat, natomiast ze Swornicy 11–20 lat.

Kolejne trzy symulacje (IV, V, VI) zostały wykonane dla takich samych, wyżej opisanych lokalizacji, jednak dla określonej maksymalnej wydajności ujęcia w wysokości 36 700 m³/d. Praca ujęcia z taką wydajnością powoduje powstanie wyraźnego leja depresji, szczególnie przy jego lokalizacji na E czy na W od Jemielnicy (fig. 3). Zwiększenie wydajności ujęcia o 26 837 m³/d jest możliwe poprzez zwiększenie dopływu wód powierzchniowych. W tej wielkości

wody powierzchniowe stanowią 85–90% w zależności od lokalizacji ujęcia. Ujęcie prowadzące eksploatację z międzyrzeczy Jemielnicy i Swornicy (symulacja VII) jest zasilane w istotnym stopniu przez wody obu rzek (tab. 1).

Z obu rzek do ujęcia dopływa około 75% ich przepływu dyspozycyjnego. Zatem dla tej lokalizacji maksymalną wydajność ujęcia można by było zwiększyć o około 10 tys. m³/d.

Ujęcie pracujące z maksymalną wydajnością, obniżając zwierciadło wody od kilku do kilkunastu metrów w rejonie studni, zwiększając spadki hydrauliczne, powoduje znaczne zwiększenie prędkości przepływu wód podziemnych i zarazem skraca czas dopływu wód powierzchniowych do poszczególnych studni ujęcia (fig. 3). Wynoszą one odpowiednio:

- dla obecnej lokalizacji ujęcia – od 17–30 dni (przebieg do studni położonych w odległości poniżej 50 m od rzeki) przez 150 dni do 2 lat (w przypadku studni oddalonych od rzeki powyżej 200 m) do 4–7 lat (dla studni oddalonych od 1 km na W od rzeki);
- dla lokalizacji ujęcia 1 km na E od Jemielnicy – od 1 do 6 lat;
- dla lokalizacji w międzyrzeczu Jemielnicy i Swornicy – od 1,5 do 4 lat.

PODSUMOWANIE

Wykonane badania modelowe pozwoliły określić maksymalną wydajność ujęcia w Zawadzie wynoszącą 36 700 m³/d. Jest to wartość zbliżona do wielkości maksymalnego dobowego poboru podanego w pozwoleniu wodnoprawnym oraz czterokrotnie przewyższającą obecną eksploatację. W zasilaniu ujęcia dominuje infiltracja wód powierzchniowych, która stanowi 75–85% ujmowanych wód. Na omawianym obszarze nie ma możliwości zmiany udziału tej składowej w bilansie wodnym ujęcia. Rozszczelnienie granic modelu w trakcie symulacji nie spowodowało znaczącego

zwiększenia dopływu wód podziemnych spoza modelowanego obszaru.

Odsuwając studnie od rzeki o 0,7–1,0 km, można wydłużyć czas dopływu infiltrujących wód powierzchniowych od 2 do 10 razy. Wydłużenie dróg i czasu przepływu będzie sprzyjało poprawie jakości ujmowanych wód powierzchniowych, szczególnie umożliwi usuwanie zanieczyszczeń biodegradowalnych, wirusów i innych patogenów. Jednocześnie wytworzenie większych lejów depresji może zintensyfikować procesy hydrogeochemiczne w strefie aeracji.

LITERATURA

- BADURA J., PRZYBYLSKI B., 2009a — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski, ark. Opole Północ. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- BADURA J., PRZYBYLSKI B., 2009b — Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski, ark. Opole Północ. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- BIELECKA H., 1997a — Mapa Hydrogeologiczna Polski 1:50 000, ark. Opole Północ. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- BIELECKA H., 1997b — Objasnienia do Mapy Hydrogeologicznej Polski 1:50 000, ark. Opole Północ. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- BIERNAT S., 1960 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski, ark. Opole Północ. Wyd. Geol., Warszawa.
- BIERNAT S., 1968 — Objasnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski, ark. Opole Północ. Wyd. Geol., Warszawa.
- GRISCHEK T., SCHOENHEINZ D., CHITTARANJAN R., 2003 — Siting and design issues for riverbank filtration schemes. *W: Riverbank filtration. Improving source water quality. Water Sci. Technol. Libr.*, 43: 291–302. Kluwer Acad. Publ.
- GÓRNIK M., 2000 — Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, ark. Jełowa. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

- GÓRNIK M., 2000 — Objaśnienia do Mapy Hydrogeologicznej Polski 1:50 000, ark. Jełowa. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KOŁACZKOWSKI M., 1986 — Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych z utworów czwartorzędowych ujęcia wodociągów miejskich w Zawadzie. Arch. PG PROXIMA Wrocław.
- KOŁACZKOWSKI M., RACZMAŃSKI J., FISZER J., KRYZA J., NOWACKI F., TKACZYK A., 1988 — Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych w cenomanie w rejonie Opoła. Arch. PG PROXIMA, Wrocław.
- KRYZA J., 1976 — Hydrogeologiczna rola doliny Małej Panwi k. Opoła. Praca doktorska. Arch. Inst. Nauk Geol. UWroc., Wrocław.
- KRYZA J., 1983 — Doliny kopalne południowo-zachodniej Polski i ich wodonośność. W: II Ogólnopolskie Sympozjum Współczesne Problemy Hydrogeologii Regionalnej Łądek Zdrój: 192–200. Wyd. UWroc., Wrocław.
- KRYZA J., 1984 — Geologia i wody podziemne doliny kopalnej Małej Panwi. *Materiały i Studia Opolskie*, 26–52, **53**: 257–275.
- KRYZA J., POPRAWSKI L., MARSZAŁEK H., 1995 — Ocena odpływu podziemnego i określenie ograniczeń w zakresie korzystania z wód podziemnych zlewni rzeki Mała Panew. Arch. Instytutu Nauk Geol. UWroc., Wrocław.
- TRZEPLA M., 1988a — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50000, ark. Jełowa. Wyd. Geol., Warszawa.
- TRZEPLA M., 1988b — Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski, ark. Jełowa. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- POLLOCK D.W., 1988 — Semianalytical computation of path lines for finite difference models. *Ground Water*, **26**, 6: 743–750.
- SCHUBERT J., 2000 — Entfernung von Schwebstoffen und Mikroorganismen sowie Verminderung der Mutagenität bei der Uferfiltration. *Gas und Wasserfach Wasser/Abwasser*, **141**, 4: 218–225.

SUMMARY

The paper presents the results of the modelling studies, aimed the improvement of groundwater intake location in Zawada near Opole. The main assumption was to verify the possibility to exploit the water with better quality, by limitation of the contaminated surface water inflow and extension of the time of surface water inflow to individual well. The discharge of water intake with induced infiltration in Zawada is equal to 9.863 m³/d. It is located in Jemielnica catchment, within Major Groundwater Reservoir No 334 (Mała Panew buried valley). It comprises of the 18 wells situated about 50–200 m from the river and pumping the groundwater with the average discharge of 30–120 m³/h. In the research process, the numerical model of groundwater flow in the vicinity of the intake has been created, using MODFLOW computer program. Furthermore, the analysis of six exploitation variants, for various discharges and intake locations, has been carried out. Determined maximum intake discharge is equal to 36.700 m³/d. This quantity is approximate to the va-

lue of maximum daily intake declared in Water Law Act and exceeds current exploitation four times. The intake is supplied mostly with surface water, which constitutes 40–90% of total water captured, depending on intake location and discharge. For the intake situated about 0.7–1.0 km from the river, the contribution of infiltrating surface water is lesser of 10–15%. The estimated time of surface water flow to the intake, working in current location with the discharge of 9.863 m³/d, ranges from 110 days to 10 years. Increase of the intake discharge to 36.700 m³/d will reduce the flow time to the range from 17 days to 7 years. However, modifying the localizations of wells, by moving them 0.7–1.0 km away from the river, can extend the surface water flow time from 2 to 10 times in each of discussed locations. The extension of water pathways and water flow time will favour the improvement of captured water quality, especially in terms of biodegradable pollutants, viruses and other pathogens removal.