

## MODEL MATEMATYCZNY DO OCENY ZASOBÓW WÓD PODZIEMNYCH W REJONIE WROCŁAWSKIEGO UJĘCIA INFILTRACYJNEGO

### A MATHEMATICAL MODEL FOR GROUNDWATER RESOURCES ASSESSMENT IN THE AREA OF THE WROCŁAW WATER INTAKE WITH INDUCED INFILTRATION

JACEK SZCZEPIŃSKI<sup>1</sup>

**Abstrakt.** Ujęcie infiltracyjne dla Wrocławia wykorzystuje wody powierzchniowe Oławy. W celu ujęcia wód podziemnych wykonano 558 studni eksploatacyjnych wzdłuż Oławy i Odry oraz 63 stawy infiltracyjne. W eksploatacji znajduje się 488 studni. Aby obliczyć zasoby wód podziemnych w rejonie ujęcia infiltracyjnego, wykonano „lokalny” oraz „szczegółowy” model numeryczny obejmujący obszary o powierzchni odpowiednio 117 i 40 km<sup>2</sup>. Całkowite zasoby wodne w rejonie wrocławskiego ujęcia infiltracyjnego, za które uważa się całość możliwych do użytkowania wód podziemnych i wód powierzchniowych, oszacowano na 590 454 m<sup>3</sup>/d. Naturalne zasoby wód podziemnych w rejonie ujęcia wynoszą 15 894 m<sup>3</sup>/d i stanowią około 2,7% całkowitych zasobów wodnych ujęcia infiltracyjnego.

**Słowa kluczowe:** ujęcie infiltracyjne, model matematyczny, zasoby wodne.

**Abstract.** The water intake with induced infiltration for the city of Wrocław is based on surface waters from the Oława river. For groundwater capture, 558 wells were constructed along Oława, Odra and 63 infiltration ponds. Currently, groundwater is captured by 488 wells. For groundwater resources assessment, the “local” and “site” groundwater flow models were developed for the areas of 117 km<sup>2</sup> and 40 km<sup>2</sup>, respectively. The total water resources in the area of the Wrocław water intake, regarded as total groundwater and surface water available for use, were estimated at 590 454 m<sup>3</sup>/d. The natural groundwater resources were estimated at 15 894 m<sup>3</sup>/d. It is 2.7% of the total water resources of the water intake.

**Key words:** water intake with induced infiltration, mathematical model, water resources.

## WSTĘP

Celem pracy jest ocena zasobów wód podziemnych ujęcia infiltracyjnego dla Wrocławia w związku z realizowaną w 2000 r. przez IMS Wrocław Sp. z o.o. koncepcją modernizacji i rozbudowy tego ujęcia. Za zasoby wodne ujęcia infiltracyjnego uważa się całość możliwych do użytkowania wód podziemnych i wód powierzchniowych.

Obliczenia modelowe wykonano za pomocą programu Modflow, umożliwiającego odwzorowanie przepływu wody pomiędzy warstwą wodonośną i wodami powierzchniowymi (Anderson, Woessner, 2002). Modflow może być też wykorzystany do rozwiązywania zagadnień związanych z infiltracją wód ze zbiorników wód powierzchniowych (Askar i in., 2001).

---

<sup>1</sup> Poltegor-Projekt Sp. z o.o., ul. Wyścigowa 56f, 53-012 Wrocław

## CHARAKTERYSTYKA REJONU UJĘCIA

### WARUNKI GEOMORFOLOGICZNE I HYDROGRAFICZNE

Wrocławskie tereny wodonośne (ujęcie infiltracyjne) mają powierzchnię 1026 ha i położone są w południowo-wschodniej części miasta. Ich rozciągłość wzdłuż dłuższej osi (NE–SE) wynosi około 6 km, natomiast maksymalna szerokość około 2,5 km. Rzędna terenu wynosi od 117 do 120 m n.p.m. Pod względem fizjograficznym obszar objęty badaniami należy do makroregionu Niziny Śląskiej (Kondracki, 1994), w skład którego wchodzi Równina Kącka i Pradolina Wrocławska, w obrębie której zlokalizowane są tereny wodonośne (fig. 1).

Na badanym obszarze średnia roczna suma opadów wynosi 522 mm, a temperatura powietrza 8,8°C. Średnie roczne parowanie z powierzchni wody równoważy wielkość opadów atmosferycznych.

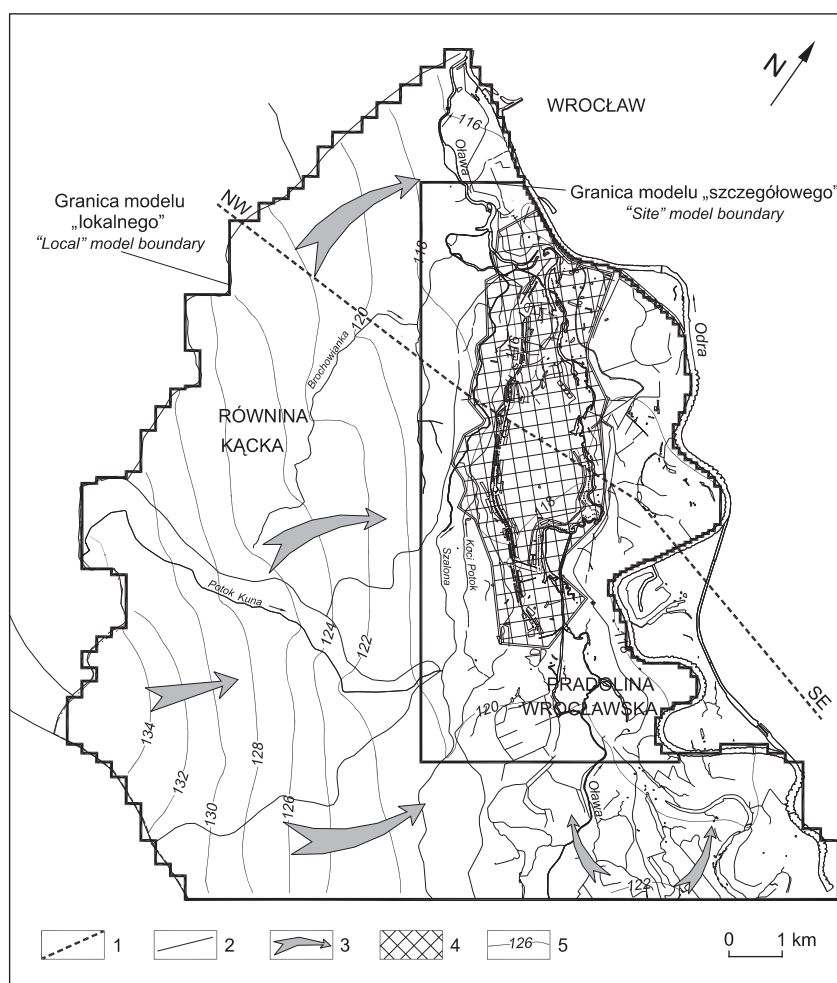
Sieć hydrograficzną obszaru badań tworzą Odra i Oława wraz ze starorzeczami i niewielkimi ciekami. Powierzchnia koryta i starorzeczy Oławy w obrębie ujęcia wynosi ok. 22 ha. Tereny ujęć pokryte są ponadto systemem rowów i kanałów nawadniających o długości 21 km, które doprowadzają wodę do 63 stawów infiltracyjnych, o łącznej po-

wierzchni blisko 60 ha. Podstawową rolę w funkcjonowaniu ujęcia pełni Oława, zasilając stawy infiltracyjne za pomocą rowów i kanałów oraz dostarczając wodę powierzchniową dla zakładu produkcji wody Mokry Dwór.

### WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Wody podziemne o charakterze użytkowym występują w trzech piętrach wodonośnych: czwartorzędowym, trzeciorzędowym (paleogeńsko-neogeńskim) i triasowym (fig. 2).

**Piętro czwartorzędowe.** Najkorzystniejsze warunki hydrogeologiczne występują w dolinie Odry, gdzie czwartorzędowe osady piaszczysto-żwirowe o miąższości do kilkunastu metrów i wodoprzewodności 200–700 m<sup>2</sup>/d stanowią ciągły i łatwo dostępny zbiornik wód podziemnych. W obszarze funkcjonowania wrocławskiego ujęcia głębokość zalegania spągu utworów wodonośnych waha się od 8 do 14 m, a ich miąższość wynosi od 6 do 14 m (fig. 3). Zwierciadło wód podziemnych na terenie ujęcia jest swobodne i cechuje się dużą zmiennością. Wpływ na to ma stan wód powierzchniowych w rzekach, stawach i rowach, wielkość opadów oraz intensywność eksploatacji poszczególnych grup studni. Utwory prze-



**Fig. 1. Mapa hydrodynamiczna północnej części zlewni Oławy, objętej modelem „lokalnym”**

1 – przekrój hydrogeologiczny, 2 – wododziały, 3 – kierunki przepływu wód podziemnych, 4 – tereny wodonośne ujęcia, 5 – hydroizohipsy (m n.p.m.)

Hydrodynamic map for the northern part of the Oława watershed, according to the “local” model

1 – hydrogeological cross-section, 2 – watersheds, 3 – groundwater flow directions, 4 – water intake area, 5 – hydroisohypses (m a.s.l.)

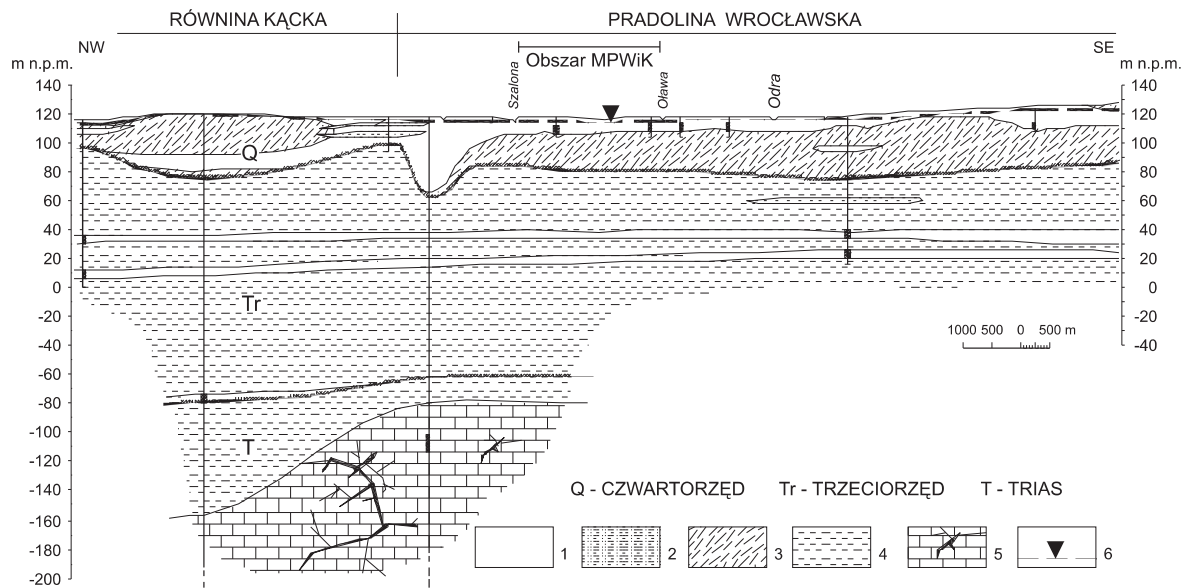


Fig. 2. Przekrój hydrogeologiczny (wg Żuk, 2000)

1 – piaski, żwiry, 2 – mułki, 3 – gliny, 4 – łupki, 5 – wapienie, 6 – zwierciadło wód poziome czwartorzędowego

Hydrogeological cross-section (after Żuk, 2000)

1 – sands, gravels, 2 – silts, 3 – clays, 4 – schist, 5 – limestones, 6 – Quaternary aquifer water table

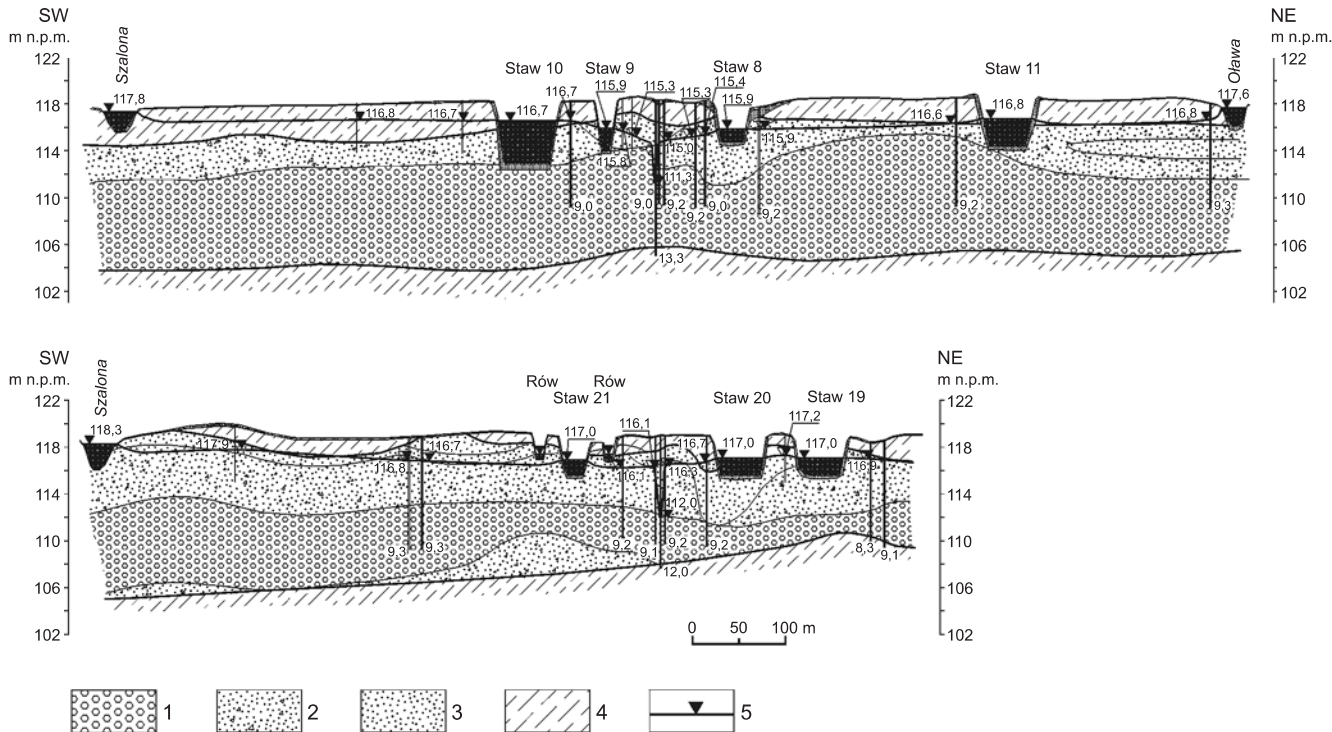


Fig. 3. Przekrój hydrogeologiczny przez obszar wrocławskiego ujęcia infiltracyjnego

1 – piaski, żwiry, 2 – piaski średnioziarniste, 3 – piaski drobnoziarniste, 4 – gliny, 5 – zwierciadło wód poziome czwartorzędowego

Hydrogeological cross-section through the Wrocław water intake area with induced infiltration

1 – sands, gravels, 2 – medium-grained sands, 3 – fine-grained sands, 4 – clays, 5 – Quaternary aquifer water table

puszczalne charakteryzują się współczynnikiem filtracji o średniej wartości około 40 m/d i wodoprzewodności 300–500 m<sup>2</sup>/d.

Na zachód od Pradoliny Wrocławskiej, na Równinie Kąckiej występuje rejon o znacznie mniejszej zasobności wód podziemnych. Użytkowy poziom wodonośny występuje na głębokości do 30 m, jego miąższość waha się od 1 do 10 m, a współczynnik filtracji wynosi najczęściej kilkanaście m/d. Wodoprzewodność tego poziomu dochodzi do 100 m<sup>2</sup>/d. Warstwy wodonośne przykryte są glinami i pyłami o miąższości do 30 m. Zwierciadło wody ma charakter napięty.

Wody podziemne zasilane są przez infiltrację wód opadowych. Część wód podziemnych drenowana jest przez niewielkie ciekły powierzchniowe, a pozostała część spływa na północny wschód, w kierunku ujęcia. Średni odpływ wód podziemnych z obszaru Równiny Kąckiej szacowany jest na około 0,75 l/s km<sup>2</sup> (Stachy red., 1987).

**Piętro trzeciorzędowe (paleogeńsko-neogeńskie)** występuje na całym badanym obszarze. Utwory wodonośne stanowią przeważnie piaski drobnoziarniste, często pylaste, lokalnie średnioziarniste, o miąższości dochodzącej do kilkunastu metrów. Najczęściej w obrębie piętra wodonośnego występują jeden lub dwa ciągle poziomy wodonośne (fig. 2). Główny użytkowy poziom wodonośny zalega na głębokości

70–100 m, miejscami poniżej 100 m; wodoprzewodność wynosi poniżej 100 m<sup>2</sup>/d, lokalnie przekracza 200 m<sup>2</sup>/d. Współczynnik filtracji wynosi średnio 9 m/d. Zwierciadło wody wykazuje ciśnienie subartezyjskie lub artezyjskie. Naturalny kierunek spływu wód podziemnych poziomu trzeciorzędowego skierowany jest ku Odrze, stanowiącej naturalną bazę drenażu. Na obszarze aglomeracji wrocławskiej, do której częściowo należy rozważany obszar, zwierciadło wód podziemnych poziomu trzeciorzędowego zalega poniżej zwierciadła wód poziomu czwartorzędowego (Dendewicz, Krawczyk, 1989).

W obrębie **triasowego piętra wodonośnego** wyróżnia się dwa poziomy wodonośne: wapienia muszlowego i pstrego piaskowca. Wody występujące w utworach wapienia muszlowego na głębokości 200–300 m są wodami o charakterze artezyjskim. Zwierciadło wody stabilizuje się na głębokości 4–11 m. Wody występują w skałach węglanowych, w zbiorniku szczelinowo-porowym, współczynnik filtracji wynosi ok. 7 m/d, a wodoprzewodność 20–30 m<sup>2</sup>/h (*op. cit.*). Poziom pstrego piaskowca występuje na głębokości od 135 do 494 m i charakteryzuje się słabą przepuszczalnością. Zwierciadło stabilizuje się 0,2 m powyżej powierzchni terenu.

## EKSPLOATACJA WROCLAWSKIEGO UJĘCIA INFILTRACYJNEGO

Wrocławskie ujęcie infiltracyjne zaopatruje w wodę 680 tys. osób, z tego 645 tys. we Wrocławiu i 35 tys. w Oławie. Od kilku lat obserwuje się zmniejszające się zapotrzebowanie na wodę – od 252 tys. m<sup>3</sup>/d w 1989 r. do 135 tys. m<sup>3</sup>/d w 2000 r. i około 120 tys. m<sup>3</sup>/d obecnie. Podstawowym źródłem wody jest Oława, o zasobach dyspozycyjnych 84 600 m<sup>3</sup>/d (Łoniewski, 1998). W 1971 r. ze względu na wzrastające zapotrzebowanie na wodę dla Wrocławia i zbyt małe przepływy w Oławie uruchomiono system przrutowy wody ze zlewni Nysy Kłodzkiej o dopuszczalnej wydajności 259 tys. m<sup>3</sup>/d (Sumiński i in., 1998). Podstawową funkcję w systemie zaopatrzenia w wodę pełni znajdujący się na Oławie osadnik Czechnica wraz ze zlokalizowaną w nim pompownią wody powierzchniowej. Z osadnika Czechnica ujmowane jest 60–100 tys. m<sup>3</sup>/d wody bezpośrednio do zakładu uzdatniania. Do rowów i kanałów rozprwadających, które zasilają 63 stawy infiltracyjne, z osadnika wprowadza się około 30–50 tys. m<sup>3</sup>/d wody (Zięba, 1998). Wy-

miary stawów są zróżnicowane: szerokość 15–50 m, długość 130–280 m, głębokość 2,5–3,5 m. Miąższość osadów dennych w stawach szacuje się na około 10 cm, przy miąższości strefy zakolmatowanej poniżej dna wynoszącej około 20 cm.

Badania i pomiary prowadzone przez użytkownika ujęcia wskazują, że prędkość infiltracji przez dna rzek i starorzeczy wynosi 0,03–0,05 m/d, a przez dna stawów 0,026–0,106 m/d. Wzdłuż koryta Oławy, Odry oraz stawów infiltracyjnych zlokalizowanych jest 558 studni tworzących osiem grup. Studnie mają średnice od 1,0 do 1,5 m, a ich głębokość waha się od 8,5 do 13,6 m. Wody pobierane przez ujęcie infiltracyjne zaopatrują Wrocław, a następnie jako ścieki zrzucane są kilkanaście kilometrów poniżej ujęcia do Odry.

W 1984 r. zostało wydane pozwolenie wodnoprawne dla Wrocławia na pobór do 2010 r. 6,65 m<sup>3</sup>/s (574 560 m<sup>3</sup>/d) wód powierzchniowych z Oławy i Nysy Kłodzkiej w celu zaopatrzenia ujęć infiltracyjnych w wodę.

## „LOKALNY” MODEL PRZEPLYWU WÓD PODZIEMNYCH

### KONSTRUKCJA MODELU NUMERYCZNEGO

Numeryczny model przepływu wód podziemnych rejonu wrocławskiego ujęcia infiltracyjnego objął obszar około 117 km<sup>2</sup> i odwzorowywał warunki krążenia wód podziemnych w północnej części zlewni Oławy (fig. 1). Analiza bu-

dowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych pozwala stwierdzić, że na całym modelowanym obszarze wpływ poziomów wodonośnych trzeciorzędu i triasu na poziom wodonośny czwartorzędowy jest bardzo ograniczony. Z tego względu przedmiotem modelowania był jedynie czwartorzędowy poziom wodonośny.



Jednowarstwowy, dwuwymiarowy (płaski) model numeryczny przepływu wód podziemnych, obejmujący północną część Równiny Kąckiej o powierzchni około 63 km<sup>2</sup> i Pradoliny Wrocławskiej o powierzchni około 54 km<sup>2</sup>, został pokryty siatką prostokątną o 205 wierszach i 116 kolumnach. Krok siatki obliczeniowej był zmienny, od 50 m w rejonie ujęcia do 300 m w rejonie peryferyjnym modelu.

Wzdłuż granic zewnętrznych poziomu wodonośnego na północy i wschodzie, gdzie granicę modelu stanowiła Odra, przyjęto warunek brzegowy I rodzaju  $H = \text{const}$ . Wartości ciśnienia odpowiadały średnim rzędnym zwierciadła wody w rzece, określonym z mapy topograficznej w skali 1:50 000. Na wschodniej i południowej granicy modelu, wzdłuż wododziału II rzędu pomiędzy Oławą i Ślązą, tożsamego z wododziałem wód podziemnych poziomu czwartorzędowego, przyjęto warunek brzegowy II rodzaju  $Q = 0$ . Na wyznaczonej umownie granicy strumienia (SE granica modelu) przyjęto warunek brzegowy I rodzaju  $H = \text{const}$ . Wartości ciśnienia odpowiadały średnim rzędnym zwierciadła wód podziemnych w tym rejonie, określonym z mapy hydroizohips czwartorzędowego poziomu wodonośnego. Dla wszystkich innych rzek i cieków znajdujących się w obszarze badań przyjęto warunek brzegowy III rodzaju. Stawy infiltracyjne, o głębokości średnio 3 m, zostały odwzorowane za pomocą warunku brzegowego III rodzaju.

Przyjęto stałą miąższość osadów dennych równą 0,3 m, o współczynniku filtracji od 0,026 do 0,106 m/d w zależności od grupy studni. Rzędną zwierciadła wody w stawach

przyjęto na podstawie pomiarów wykonanych w 2000 r. w piezometrach sieci obserwacyjnej, znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie każdego ze stawów. Wszystkie działające studnie eksploatacyjne odwzorowano warunkiem II rodzaju  $Q = \text{const}$ . Całkowity wydatek wszystkich działających studni w 2000 r. wynosił 74 176 m<sup>3</sup>/d. Ze względu na brak rejestracji wydajności każdej ze studni, wszystkim 488 pracującym studniom przypisano stały wydatek równy 152 m<sup>3</sup>/d. Część z istniejących studni ujęcia zostało wyłączonych ze względu na bliskie sąsiedztwo składowiska odpadów Huty Siechnica. W celu oszacowania strumienia infiltracji z opadów atmosferycznych w modelowanym obszarze wykorzystano mapę wykształcenia litologicznego utworów powierzchniowych. W wyniku tarowania modelu wydzielono 4 strefy zasilania powierzchniowego wód podziemnych – od 2,3 do 20% średnich opadów atmosferycznych.

#### WARUNKI ZASILANIA PÓLNOECNEJ CZĘŚCI PRADOLINY WROCŁAWSKIEJ

Obliczony na podstawie badań modelowych moduł zasilania opadowego dla Równiny Kąckiej wynosi 0,79 l/s km<sup>2</sup>. Część wód podziemnych drenowana jest przez niewielkie ciek. W kierunku południowo-zachodnim, tj. do Pradoliny Wrocławskiej, odpływa z tego obszaru 2430,1 m<sup>3</sup>/d (tab. 1, fig. 4). Ponadto z południowej części pradoliny do obszaru objętego modelem dopływa 1009,5 m<sup>3</sup>/d. Moduł zasilania

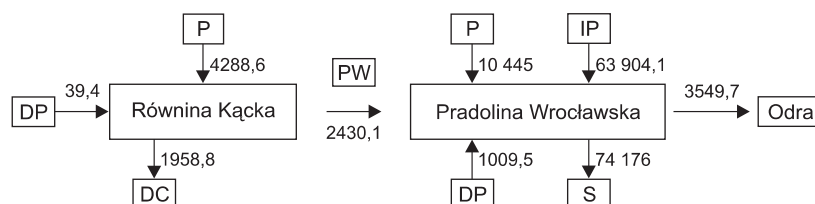


Fig. 4. Schemat blokowy bilansu wodnego w północnej części zlewni Oławy według modelu „lokalnego”, [m<sup>3</sup>/d]

P – zasilanie opadami atmosferycznymi, DP – dopływ podziemny spoza obszaru modelu, DC – drenaż do cieków, PW – dopływ podziemny z Równiny Kąckiej, IP – zasilanie z cieków i stawów infiltracyjnych, S – drenaż wód przez studnie ujęcia infiltracyjnego – oszacowany niezależnie od modelu

Water balance block diagram within the northern part of the Oława watershed, according to the “local” model, [m<sup>3</sup>/d]

P – recharge from precipitation, DP – underflow from outside the model area, DC – discharge to streams, PW – underflow from Równina Kącka, IP – recharge from streams and infiltration ponds, S – discharge by wells of the water intake with induced infiltration – estimated independently of the model

Tabela 1

#### Bilans wód podziemnych północnej części zlewni Oławy na podstawie modelu „lokalnego”, [m<sup>3</sup>/d]

Groundwater balance within the northern part of the Oława watershed, according to the “local” model, [m<sup>3</sup>/d]

	Powierzchnia [km <sup>2</sup> ]	Zasilanie opadowe	Dopływ podziemny	Odpływ podziemny	Drenaż /zasilanie ciekami i stawami	Studnie
Równina Kącka	63	4288,6	39,4	2430,1	-1958,8	–
Pradolina Wrocławska	54	10445,0	3439,6	3549,7	63904,1	-74176*

\* wydatek studni na podstawie danych MPWiK  
wells discharge, based on MPWiK data

opadowego obszaru Pradoliny Wrocławskiej objętego modelem „lokalnym” wynosi 2,24 l/s km<sup>2</sup>.

Zasadnicze znaczenie dla zasilania warstwy wodonośnej czwartorzędu ma Oława oraz stawy infiltracyjne. System obiektów hydrotechnicznych zapewnia infiltrację wód po-

wierzchniowych w ilości 63 904,1 m<sup>3</sup>/d. Głównym elementem drenażu w obszarze pradoliny są studnie wrocławskiego ujęcia infiltracyjnego, których całkowity wydatek wynosi 74 176 m<sup>3</sup>/d. Odpływ podziemny w kierunku Odry – głównej bazy drenażu – wynosi 3549,7 m<sup>3</sup>/d.

## „SZCZEGÓŁOWY” MODEL WARUNKÓW HYDRODYNAMICZNYCH

### ZMIANY W KONSTRUKCJI MODELU NUMERYCZNEGO

Modelowanie przepływu wód podziemnych w obszarze wrocławskiego ujęcia infiltracyjnego wymagało budowy „szczegółowego” modelu matematycznego. W ramach zrealizowanego we wcześniejszej fazie obliczeń modelu „lokalnego” zastosowano procedurę TMR (*Telescopic Mesh Refinement*), polegającą na „wycięciu” ze zbudowanego modelu „lokalnego” obszaru o mniejszej powierzchni. Nowo zbudowany model „szczegółowy” poddano dyskretyzacji umożliwiającej dokładniejsze odwzorowanie zarówno warunków brzegowych, jak i warunków hydrogeologicznych obszaru ujęcia (fig. 5).

Granice modelu „szczegółowego” zostały wyznaczone w odległości zapewniającej właściwe odwzorowanie oddziaływania ujęcia na wody podziemne i powierzchniowe. Całkowita powierzchnia modelu „szczegółowego” wynosiła około 40 km<sup>2</sup>. Modelowany obszar pokryto nieregularną siatką dyskretyzacji – 535 wierszy i 235 kolumn. Krok siatki obliczeniowej wynosił od 17,5 m w rejonie ujęcia do 50 m w pobliżu granic modelu. Wszystkie granice zewnętrzne modelu „szczegółowego” były symulowane za pomocą warunku brzegowego I rodzaju  $H = \text{const}$ , którego wartości odpowiadały wysokościami naporu hydraulicznego obliczonym przez model „lokalny” w blokach stanowiących granicę zewnętrzną modelu „szczegółowego”. Uszczegółowiono lokalizację warunku brzegowego wewnętrznego III rodzaju, symulującego rzeki i stawy infiltracyjne, oraz warunku II rodzaju  $Q = \text{const}$ , reprezentującego studnie ujęcia. Na obszarach odpowiadających ciekom i stawom infiltracyjnym usunięto warunek brzegowy II rodzaju, odwzorowujący zasilanie przez opady atmosferyczne. Ze względu na równowagę pomiędzy średnią roczną wielkością parowania z powierzchni wody i opadami atmosferycznymi przyjęto warunek brzegowy  $Q = 0$ .

### BILANS WÓD PODZIEMNYCH W OBSZARZE OBJĘTYM MODELEM „SZCZEGÓŁOWYM”

W procesie kalibracji modelu wzięto pod uwagę 641 piezometrów i studni określających położenie zwierciadła wód

podziemnych na obszarze terenów wodonośnych. Obliczony moduł zasilania opadowego dla obszaru objętego modelem „szczegółowym” wyniósł 1,84 l/s km<sup>2</sup>. Obliczenia modelowe wskazują, że od północnego zachodu, tj. z Równiny Kąckiej, oraz z południowego wschodu, tj. z południowej części Pradoliny Wrocławskiej, dopływa 2693 m<sup>3</sup>/d wód podziemnych (tab. 2, fig. 6). Zasadnicze znaczenie dla zasilania warstwy wodonośnej ma sztucznie spiętrzona na obszarze ujęcia Oława oraz stawy infiltracyjne, z których do studni infiltruje odpowiednio 26 039 i 37 154 m<sup>3</sup>/d.

Tabela 2

#### Bilans wód podziemnych w rejonie ujęcia infiltracyjnego na podstawie modelu „szczegółowego”, [m<sup>3</sup>/d]

Groundwater balance within the water intake region,  
according to the “site” model, [m<sup>3</sup>/d]

Zasilanie opadowe	Dopływ podziemny	Odpływ podziemny	Infiltracja z rzek i cieków	Infiltracja ze stawów	Wydatek studni*
6353	2693	5671	32842	37154	74176

\* wydatek studni określony na podstawie danych MPWiK wells discharge, based on MPWiK data

### NIEDOSTATKI DANYCH WEJŚCIOWYCH

Głównym elementem, który nie został uwzględniony w modelu, był rzeczywisty rozkład wielkości poboru wód podziemnych przez studnie eksploatacyjne ujęcia. W modelu przyjęto stały wydatek (152 m<sup>3</sup>/d) każdej z 488 pracujących studni. Wielkość tego wydatku określono na podstawie rzeczywistego całkowitego wydatku wszystkich studni ujęcia (74 176 m<sup>3</sup>/d). Uwzględnienie rzeczywistych wydajności każdej ze studni może wpłynąć na zmianę udziału poszczególnych elementów zasilania w dopływie wód do ujęcia. Za parametr obarczony błędem należy również uznać współczynnik filtracji osadów dennych. Przyjęty on został z materiałów archiwalnych, przedstawiających parametry filtracyjne w stawach oszacowane metodą zalewania w latach 1992–1993.

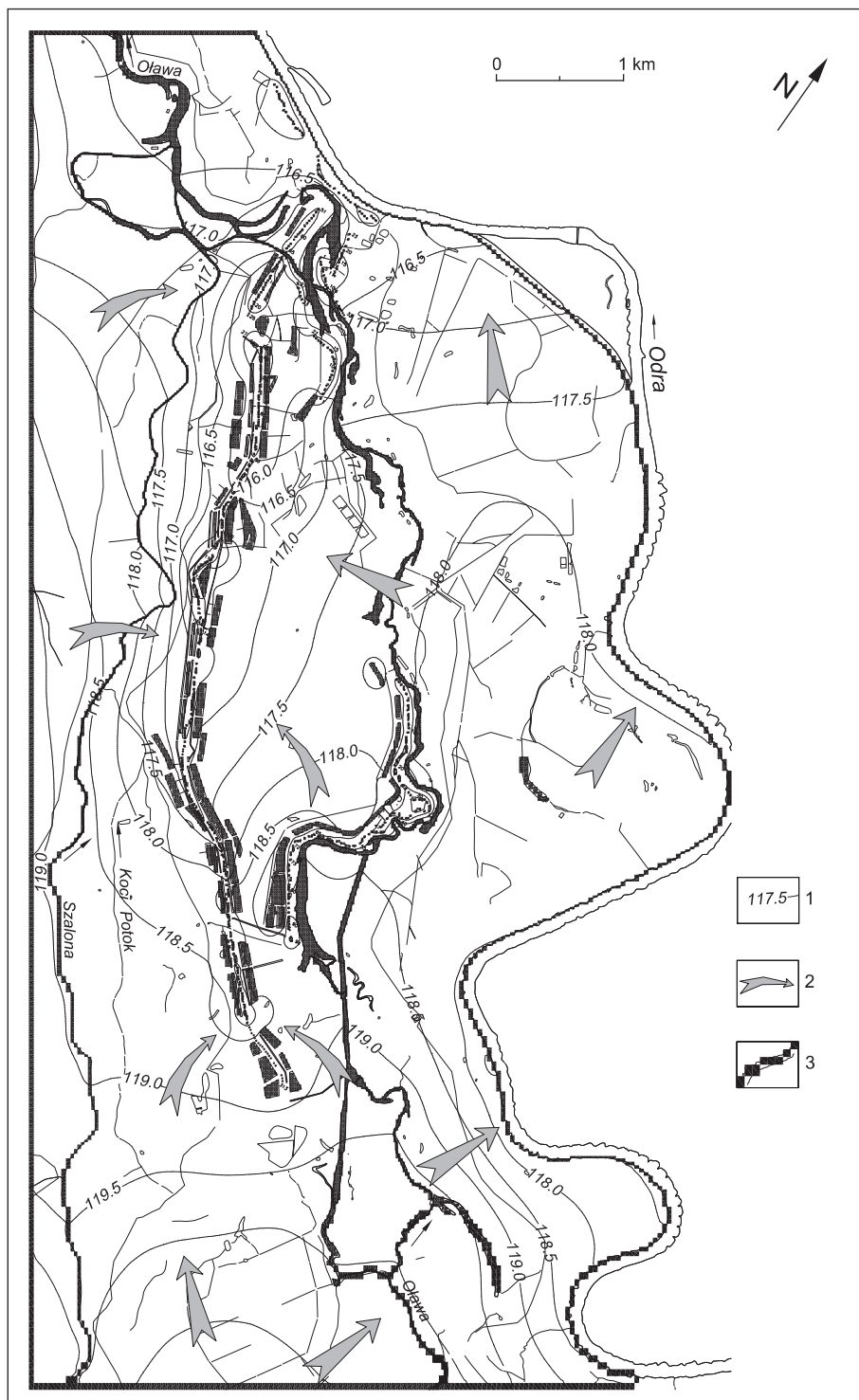


Fig. 5. Mapa hydrodynamiczna rejonu ujęcia infiltracyjnego objętego modelem „szczegółowym”

1 – hydroizohipsy (m n.p.m.), 2 – kierunki przepływu wód podziemnych, 3 – warunki brzegowe modelu numerycznego

Hydrodynamic map within the water intake region, according to the “site” model

1 – hydroisohyps (m a.s.l.), 2 – groundwater flow directions, 3 – boundary conditions of the model

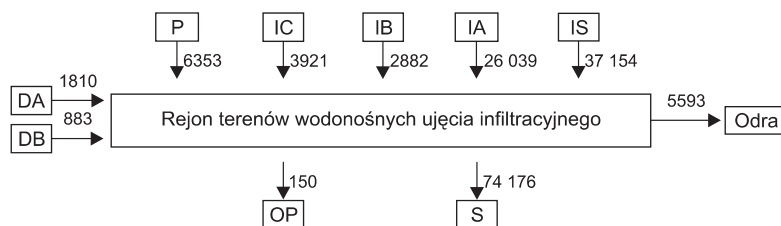


Fig. 6. Schemat blokowy bilansu wodnego w rejonie ujęcia infiltracyjnego według modelu „szczegółowego”, [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]

DA – dopływ podziemny z Równiny Kąckiej, DB – dopływ podziemny z Pradoliny Wrocławskiej, P – zasilanie opadami atmosferycznymi, IC – zasilanie z Odry, IB – zasilanie z cieków Szalona, IA – zasilanie z Oławy, IS – zasilanie ze stawów infiltracyjnych, OP – odpływ podziemny na północ, S – drenaż wód studniami ujęcia infiltracyjnego – oszacowany niezależnie od modelu

Water balance block diagram in the water intake region, according to the “site” model, [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]

DA – underflow from Równina Kącka, DB – underflow from Pradolina Wrocławska, P – recharge from precipitation, IC – recharge from the Odra river, IB – recharge from the Szalona watercourse, IA – recharge from the Oława river, IS – recharge from infiltration ponds, OP – northward underflow, S – discharge by wells of the water intake with induced infiltration – estimated independently of the model

## ZASOBY WÓD PODZIEMNYCH W REJONIE UJĘCIA INFILTRACYJNEGO

Na całkowite zasoby wodne rejonu wrocławskiego ujęcia infiltracyjnego składają się: 1) zasoby dynamiczne wód podziemnych pochodzące z infiltracji efektywnej opadów oraz dopływu bocznego w warstwie wodonośnej spoza obszaru badań; 2) zasoby naturalne, wzbudzone wód podziemnych (Dąbrowski i in., 2004), zwane też dodatkowymi, pochodzące z infiltracji i filtracji wód powierzchniowych; 3) zasoby sztuczne, wzbudzone wód podziemnych, powstające wskutek zasilania wód podziemnych za pomocą sztucznego piętrzenia wód powierzchniowych lub budowy specjalnych urządzeń (stawy, rowy infiltracyjne); 4) zasoby wód powierzchniowych.

Obliczenia wykonane za pomocą modelu umożliwiły określenie naturalnych i sztucznych zasobów wód rejonu wrocławskiego ujęcia infiltracyjnego w obszarze objętym

modelem „szczegółowym”. Zasoby dynamiczne wód podziemnych, pochodzące z infiltracji opadów, wynoszą  $6353 \text{ m}^3/\text{d}$ . Dopływ podziemny spoza obszaru badań modelowych wynosi  $2693 \text{ m}^3/\text{d}$ , a zasilanie z Odry i Szalonej  $6803 \text{ m}^3/\text{d}$ . Tak więc określone metodą modelowania matematycznego naturalne zasoby wód podziemnych wynoszą  $15\,894 \text{ m}^3/\text{d}$ . Biorąc pod uwagę pozwolenie wodnoprawne na pobór  $574\,560 \text{ m}^3/\text{d}$  wód powierzchniowych do celów zaopatrzenia ujęć infiltracyjnych w wodę, należy przyjąć, że udział wód podziemnych (w tym wód pochodzących z Odry i Szalonej), w ogólnych zasobach wodnych ujęcia infiltracyjnego wynosi około 2,7%. Pozostałą część zasobów wodnych rejonu ujęcia infiltracyjnego należy zaliczyć do zasobów sztucznych.

## PODSUMOWANIE

Całkowite zasoby wodne ujęcia infiltracyjnego, łącznie z zasobami wód powierzchniowych Oławy i Nysy Kłodzkiej, należy oszacować na  $590\,454 \text{ m}^3/\text{d}$ . Obliczenia wykonane na „szczegółowym” modelu numerycznym wykazały, że naturalne zasoby wód podziemnych rejonu wrocławskiego ujęcia infiltracyjnego wynoszą  $15\,894 \text{ m}^3/\text{d}$  i stanowią około 2,7% całkowitych zasobów wodnych ujęcia. Część danych wykorzystanych do budowy modelu posiada mniej-

szą wiarygodność. Najbardziej istotny jest brak danych na temat rozkładu wydatków studni eksploatacyjnych. Symulacja uwzględniająca rzeczywiste wydatki studni umożliwiłaby określenie zasobów wód podziemnych z większą dokładnością. Fakt ten nie zmieniłby jednak zasadniczo przedstawionego w artykule udziału naturalnych zasobów wód podziemnych w całkowitych zasobach wodnych rejonu wrocławskiego ujęcia infiltracyjnego.



## LITERATURA

- ANDERSON M.P., WOESSNER W.W., 2002 – Applied groundwater modeling. Elsevier, San Diego.
- ASKAR G., AHLFELD D., WINKLER E., 2001 – Development of a rational basis for designing stormwater control structures and flow and volume design criteria. Massachusetts Dept. of Env. Protection, Project 99-06/319.
- BOCHEŃSKA T., MARSZAŁEK H., POPRAWSKIL., 1995 – Pozycja wód podziemnych w bilansie wodnym zlewni rzeki Oławy. *Acta Univ. Wratisl., Pr. Geol.-Miner.*, **44**: 127–139.
- DĄBROWSKI S., GÓRSKI J., KAPUŚCIŃSKI J., PRZYBYŁEK J., SZCZEPAŃSKI A., 2004 – Metodyka określania zasobów eksploatacyjnych ujęć zwykłych wód podziemnych. Poradnik metodyczny. Wyd. Borgis, Warszawa.
- DENDEWICZ A., KRAWCZYK J., 1989 – Perspektywiczne struktury wodonośne w niecce wrocławskiej. Mat. Konf. „Alternatywne źródła zaopatrzenia Wrocławia w wodę”: 25–31. Wrocław.
- KONDRACKI J., 1994 – Geografia Polski. Mezoregiony fizyczno-geograficzne. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- ŁONIEWSKI J., 1998 – Zarys poszukiwań wód podziemnych dla potrzeb miasta Wrocławia oraz ocena możliwości ich wykorzystania. *Górn. Odkr.*, **4**: 38–59.
- MCDONALD M.G., HARBAUGH A.W., 1988 – A modular three-dimensional finite difference ground-water flow model. Techn. of Water-Resources Investigations of the U.S. Geol. Surv., Book 6, Chapt. A1, Washington.
- SUMISŁAWSKI W., SZEWCZYK T., ZIĘBA L., 1998 – Stan obecny i perspektywy zaopatrzenia w wodę miasta Wrocławia z uwzględnieniem poprawy jakości wody pitnej. *Górn. Odkr.*, **4**: 3–27.
- STACHY J. (red.), 1987 – Atlas hydrologiczny Polski. Wyd. Geol., Warszawa.
- ZIĘBA L., 1998 – System zaopatrzenia Wrocławia w wodę: stan obecny i perspektywy rozwoju. *Ochrona Środowiska*, **3**, 70: 3–12.
- ŻUK U., 2000 – Opis do mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000, ark. Wrocław. Państw. Inst. Geol., Warszawa.