

ANDRZEJ HAŁADUS*, RYSZARD KULMA*

Analiza dopływów wody do studni położonych w pobliżu prostopadłych granic zasilania

Słowa kluczowe

Hydrogeologia, ujęcia wód podziemnych, obliczenia prognostyczne

Streszczenie

Wzrost zapotrzebowania na wodę spowodował, że jednymi z najważniejszych problemów gospodarki wodnej stają się zagadnienia retencji i sztucznego wzbogacania zasobów wód podziemnych. W praktyce hydrogeologicznej często występuje sytuacja zbyt małej, w stosunku do potrzeb, zasobności ośrodka wodonośnego. Brak dostatecznie wydajnych źródeł zaopatrzenia z wód podziemnych sprzyja wykorzystaniu wód powierzchniowych do sztucznego zasilania warstw wodonośnych. Pozwala to na zwiększenie wydajności ujęć wód podziemnych. Dokładna prognoza hydrogeologiczna pracy ujęcia w tych warunkach ma więc coraz większe znaczenie praktyczne. Obliczenia wykonywane są metodami analitycznymi lub, bardziej wiarygodnymi, modelowania matematycznego.

W pracy przedstawiono ocenę dokładności prognoz hydrogeologicznych dla jedno- i dwuotworowego ujęcia infiltracyjnego położonego w pobliżu prostopadłych granic zasilania. Zrealizowano ją porównując wyniki obliczeń wykonanych metodami analitycznymi i modelowania dla ujęć eksploatujących warstwę wodonośną o zwierciadle naporowym i swobodnym. Łącznie zrealizowano 140 rozwiązań wariantowych. Obliczenia analityczne dla dwóch współdziałających studni wykonano na podstawie wzorów wyprowadzonych przez autorów niniejszej pracy.

Dokładność analitycznego określenia wydajności ujęcia, przy przyjętych warunkach brzegowych, parametrach hydrogeologicznych i techniczno-eksploatacyjnych wynosi od 0 do około 13% — w przypadku ujęcia jednootworowego, i od 0 do około 8% — dla ujęcia dwuotworowego. Błędy obliczenia wielkości obniżenia zwierciadła wody (depresji) mogą dochodzić odpowiednio do około 20% i 10%.

* Dr inż., Zakład Hydrogeologii i Ochrony Wód AGH, Kraków.

Wprowadzenie

Brzegowe ujęcia infiltracyjne coraz częściej są wykorzystywane dla zaopatrzenia ludności w wodę do picia i celów bytowo-gospodarczych, a także na potrzeby przemysłu. Ocena wiarygodności prognoz hydrogeologicznych pracy ujęć ma zatem duże znaczenie praktyczne. Obliczenia prognostyczne dla ujęć składających się z jednego lub dwóch otworów wykonuje się na ogół przy wykorzystaniu wzorów analitycznych. Błędy prognoz są najczęściej wynikiem uproszczeń związanych z przyjętymi schematami obliczeniowymi.

Możliwość oceny dokładności prognoz hydrogeologicznych stwarzają metody modelowania matematycznego. Chociaż samo ich wykorzystanie nie eliminuje całkowicie błędów schematyzacji, to wyniki rozwiązań symulacyjnych są bardziej wiarygodne od uzyskanych na podstawie formuł analitycznych.

Autorzy przedstawili w pracy ocenę dokładności prognoz hydrogeologicznych dla jedno- i dwuotworowego ujęcia infiltracyjnego na podstawie obliczeń analitycznych i badań modelowych. Zrealizowano 140 rozwiązań wariantowych dla warstwy wodonośnej o zwierciadle naporowym i swobodnym.

Do obliczeń analitycznych ujęcia składającego się z dwóch studni wykorzystano formuły wyprowadzone przez autorów niniejszej pracy.

Prace badawcze zostały zrealizowane w Akademii Górniczo-Hutniczej w ramach działalności statutowej (umowa nr 11.11.140.251).

1. Założenia do schematu obliczeniowego

Przedmiotem badań było ujęcie infiltracyjne położone w pobliżu dwóch prostopadłych granic zasilających (np. w obszarze między rzeką i jej dopływem). Dla wykonania obliczeń analitycznych i badań modelowych przyjęto następujące założenia:

- ujęcie składa się z jednej lub dwóch studni współdziałających, położonych w pobliżu rzeki i prostopadle biegnącego dopływu; odległość między dwoma studniami oraz od rzeki ulega zmianie (rys. 1 i 2 — patrz rozdz. 2);

- przepływy filtracyjne w pojedynczej warstwie wodonośnej, o zwierciadle naporowym lub swobodnym, mają charakter ustalony;

- w warunkach naturalnych (początkowych) zwierciadło wód podziemnych zalega poziomo (spadek hydrauliczny $J_0 = 0$);

- utwory wodonośne, w warunkach zaburzonej eksploatacją, mają ograniczone rozpręstrzenianie. Z dwóch stron wyznacza je przebieg rzek o pełnej więzi hydraulicznej z warstwą, a od pozostałych — zasięg leja depresyjnego. Na tych granicach zrealizowano warunki I rodzaju $H = \text{const.}$;

- warstwa wodonośna została odwzorowana na modelu dwuwymiarowym płaskim w planie;

- utwory wodonośne są jednorodne, izotropowe. Oznacza to, że w warstwie wodonośnej o zwierciadle naporowym $T_x = T_y$, natomiast w warunkach swobodnych $k_x = k_y$;

- w spągu i stopie warstwy naporowej oraz w spągu warstwy o zwierciadle swobodnym zalegają utwory nieprzepuszczalne;

- w obliczeniach pominięto zasilanie infiltracyjne, tj. $q_{inf} = 0$;
- studnie, które eksploatują warstwy wodonośne są zupełnymi, tzn. zafiltrowana jest ich całkowita miąższość;
- depresja w studni eksploatacyjnej lub jej wydajność nie ulega zmianie ($s = \text{const.}$ lub $Q = \text{const.}$). Na modelu studnie symulowano warunkami III rodzaju, uwzględniającymi deformacje radialnego strumienia wody podziemnej w bezpośrednim ich sąsiedztwie, lub warunkami II rodzaju;
- w obliczeniach analitycznych i badaniach modelowych przyjęto identyczne warunki eksploatacji studni oraz wielkości parametrów hydrogeologicznych (tab. 1).

TABELA 1

Parametry hydrogeologiczne i techniczno-eksploatacyjne jedno- lub dwuotworowego ujęcia infiltracyjnego, dla przyjętego schematu obliczeniowego (modelu)

TABLE 1

Hydrogeological and technical-exploitation parameters for single or double holed wells bank infiltration intakes, for the assumed calculation scheme (model)

Rodzaj parametru	Wielkość
Miąższość warstwy wodonośnej M [m]	20,0
Współczynnik filtracji k [m/d]	2,5; 10,0
Przewodność warstwy wodonośnej T [m^2/d]	50,0; 200,0
Depresja w studniach eksploatacyjnych s [m]	2,5; 5,0; 10,0
Promień studni r [m]	0,2
Odległość studni od granic zasilających d [m]	25,0—100,0
Odległość między studniami d [m]	25,0—106,1

W celu uzyskania oceny wiarygodności prognoz hydrogeologicznych pracy ujęcia składającego się z jednej lub dwóch studni wykonano odpowiednio 60 i 80 rozwiązań wariantowych (tab. 2 i 5 — patrz rozdz. 4). Badania zrealizowano dla warunków naporowych i swobodnych z uwzględnieniem zmiany depresji w studniach, odległości ujęcia do rzek oraz parametrów charakteryzujących ujmowaną warstwę wodonośną (przewodności hydraulicznej lub współczynnika filtracji).

2. Obliczenia analityczne

Obliczenia analityczne, obejmujące wielkości dopływów i położenia zwierciadła wód podziemnych, wykonano dla ujęcia składającego się z pojedynczej studni lub dwóch otworów studziennych położonych między dwiema prostopadłymi granicami zasilania w warstwie wodonośnej o zwierciadle naporowym i swobodnym.

2.1. Ujęcie studzienne jednootworowe

Wielkość dopływów do studni pracującej w warstwie wodonośnej o zwierciadle naporowym (rys. 1) obliczono z następującego wzoru (Turek, red., 1977):

$$Q = \frac{2\pi kMs}{\ln \frac{2x_1 y_1}{r\sqrt{x_1^2 + y_1^2}}} \quad (1)$$

gdzie:

- Q — wydatek studni [m³/d],
- k — współczynnik filtracji warstwy wodonośnej [m/d],
- M — miąższość warstwy wodonośnej [m],
- s — depresja w studni [m],
- r — promień studni [m],
- x₁, y₁ — odległości studni od granic zasilania [m].

Wydatność studni eksploatującej warstwę wodonośną o zwierciadle swobodnym określono z relacji o następującej postaci:

$$Q = \frac{\pi k(2M - s)s}{\ln \frac{2x_1 y_1}{r\sqrt{x_1^2 + y_1^2}}} \quad (2)$$

Obniżenie zwierciadła wody „s_p” w wybranych punktach położonych w rejonie ujęcia (rys. 2) obliczono z wykorzystaniem formuły (Turek, red., 1977):

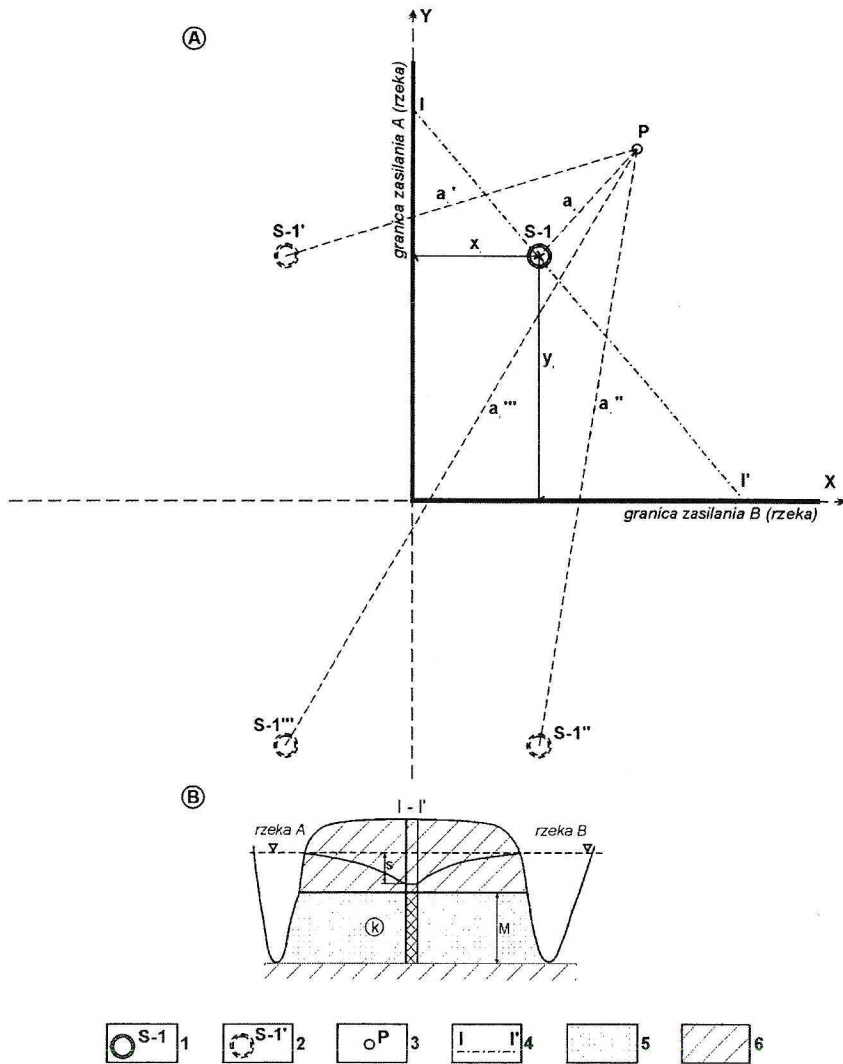
— dla warstwy wodonośnej o zwierciadle naporowym:

$$s_p = \frac{Q \cdot \ln \frac{a_1' a_1''}{a_p a_1''''}}{2\pi kM} \quad (3)$$

gdzie:

- a_p — odległość punktu pomiarowego od studni rzeczywistej [m],
- a₁, a₁', a₁'' — odległości punktu pomiarowego od studni fikcyjnych, S - 1', S - 1'' i S - 1''' [m];

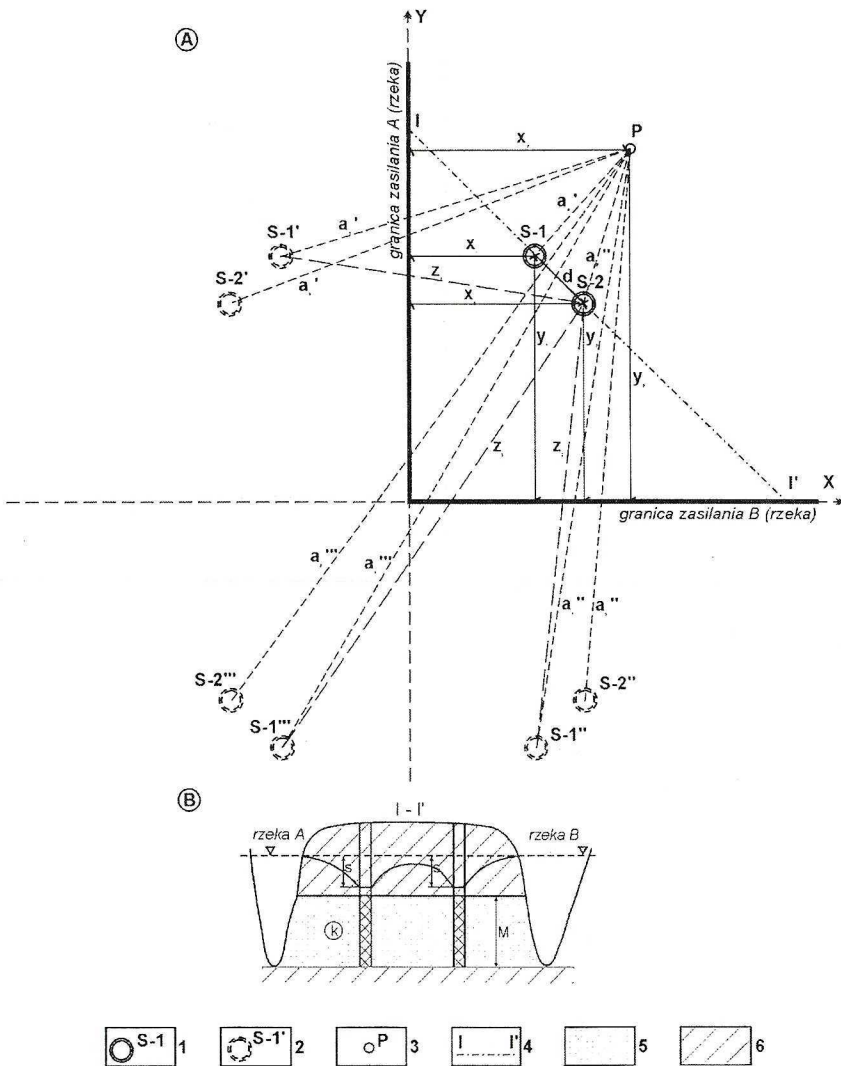
— dla warstwy wodonośnej o zwierciadle swobodnym:



Rys. 1. Plan sytuacyjny ujęcia studziennego (A) i schematyczny przekrój hydrogeologiczny I—I' (B)
 1 — studnia, 2 — studnia fikcyjna, 3 — otwór obserwacyjny (punkt pomiarowy), 5, 6 — utwory przepuszczalne (5)
 i nieprzepuszczalne (6)

Fig. 1. Situational plan of the well intake (A) and scheme of the hydrogeological cross section I—I' (B)
 1 — well, 2 — fictional well, 3 — observation well (measurement point), 5, 6 — permeable (5) and impermeable
 formations (6)

$$s_p = \frac{Q \cdot \ln \frac{a'_1 a_1''}{a_p a_1''}}{\pi k (2M - s)} \quad (4)$$



Rys. 2. Plan sytuacyjny ujęcia dwuotworowego (A) i schematyczny przekrój hydrogeologiczny I—I' (B)
 1 — studnia, 2 — studnia fikcyjna, 3 — otwór obserwacyjny (punkt pomiarowy), 5, 6 — utwory przepuszczalne (5)
 i nieprzepuszczalne (6)

Fig. 2. Situational plan of double well intake (A) and schematic hydrogeological cross-section I—I' (B)
 1 — well, 2 — fictional well, 3 — observation well (measurement point), 5, 6 — permeable (5) and impermeable
 formations (6)

2.2. Ujęcie studzienne dwuotworowe

W literaturze nie ma wzorów analitycznych umożliwiających obliczenie wydatków dwóch współdziałających otworów studziennych i wielkości obniżeń zwierciadła wód podziemnych w rejonie dwóch prostokątnych granic zasilania. Autorzy wyprowadzili te wzory przy założeniu,

że wydajności studni współdziałających są sobie równe. Wykorzystano zasadę odbić zwierciadlanych i superpozycji (zasada Forchheimera). Poniżej przedstawiono sposób wyprowadzenia wzorów dla filtracji wód podziemnych w warunkach naporowych (rys. 2).

$$s_2 = s_{0,2} + \Delta s_1 \quad (5)$$

$$s_{0,2} = \frac{Q}{2\pi kM} \ln \frac{2x_2 y_2}{r\sqrt{x_2^2 + y_2^2}} \quad (6)$$

$$\Delta s_1 = \frac{Q}{2\pi kM} \ln \frac{2x_1}{d} + \frac{Q}{2\pi kM} \ln \frac{2y_1}{d} - \frac{Q}{2\pi kM} \ln \frac{2x_1}{z_1} - \frac{Q}{2\pi kM} \ln \frac{2y_1}{z_2} - \frac{Q}{2\pi kM} \ln \frac{z_3}{d} \quad (7)$$

$$\Delta s_1 = \frac{Q}{2\pi kM} \ln \frac{z_1 y_2}{dz_3}$$

$$z_1 = \sqrt{(x_1 + x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

$$z_2 = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 + y_2)^2}$$

$$z_3 = \sqrt{(x_1 + x_2)^2 + (y_1 + y_2)^2}$$

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

Ostatecznie, wzór na dopływ wody Q_2 do studni S-2, ujmującej warstwę wodonośną o zwierciadle naporowym, przedstawia się następująco:

$$Q_2 = \frac{2\pi kM s_2}{\ln \frac{2x_2 y_2 \sqrt{(x_1 + x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 + y_2)^2}}{r\sqrt{x_2^2 + y_2^2} \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \sqrt{(x_1 + x_2)^2 + (y_1 + y_2)^2}}} \quad (8)$$

W analogiczny sposób wyprowadzono zależność określającą dopływ wody Q_1 do studni współdziałającej S-1.

$$Q_1 = \frac{2\pi k M s_1}{\ln \frac{2x_1 y_1 \sqrt{(x_1 + x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 + y_2)^2}}{r \sqrt{x_1^2 + y_1^2} \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \sqrt{(x_1 + x_2)^2 + (y_1 + y_2)^2}}} \quad (9)$$

W powyższych wzorach:

- Q_1, Q_2 — wydatki studni współdziałających S-1 i S-2, przy czym $Q_1 = Q_2 = Q$,
 s_1, s_2 — depresje w studniach współdziałających S-1 i S-2 [m],
 $S_{0,2}$ — depresja w studni S-2 przy braku współdziałania [m],
 Δs_1 — przyrost depresji w studni S-2 w wyniku oddziaływania studni nr 1 [m],
 x_1, y_1, x_2, y_2 — odległości studni odpowiednio S-1 i S-2 od granic zasilania [m],
 d — odległość między studniami [m],
 z_1, z_2, z_3 — odległości studni S-2 od studni fikcyjnych nr 1, tj. od S-1', S-1'' i S-1''' [m].

Pozostałe objaśnienia podano uprzednio, pod wzorem (1).

Obliczenia dopływów do dwóch studni współdziałających, pracujących w warstwie wodonośnej o zwierciadle swobodnym, zostały wykonane z wykorzystaniem wzorów (10) i (11) uzyskanych na podstawie (8) i (9) poprzez podstawienie do nich skorygowanej miąższości równej $(M - 0,5s)$. Ostatecznie otrzymano następujące relacje:

$$Q_1 = \frac{\pi k (2M - s_1) s_1}{\ln \frac{2x_1 y_1 \sqrt{(x_1 + x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 + y_2)^2}}{r \sqrt{x_1^2 + y_1^2} \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \sqrt{(x_1 + x_2)^2 + (y_1 + y_2)^2}}} \quad (10)$$

$$Q_2 = \frac{\pi k (2M - s_2) s_2}{\ln \frac{2x_2 y_2 \sqrt{(x_1 + x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 + y_2)^2}}{r \sqrt{x_2^2 + y_2^2} \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \sqrt{(x_1 + x_2)^2 + (y_1 + y_2)^2}}} \quad (11)$$

Depresję „ s_{DP} ” w rejonie współdziałania dwóch studni położonych w pobliżu prostopadłych granic zasilania obliczono ze wzorów (13) i (14), wyprowadzonych dla warstwy wodonośnej o zwierciadle naporowym z wykorzystaniem przyjętej schematyzacji (rys. 1 i 2) i równania:

$$s_{DP} = s_p' + s_p'' \quad (12)$$

Podstawiając w miejsce s_p' i s_p'' odpowiednio skorygowaną postać wzoru (3) otrzymamy:

$$s_{DP} = \frac{Q_1 \ln \frac{a_1' a_1''}{a_p' a_1''}}{2\pi k M} + \frac{Q_2 \ln \frac{a_2' a_2''}{a_p'' a_2''}}{2\pi k M} \quad (13)$$

Gdy $Q_1 = Q_2 = Q$, formuła obliczeniowa przyjmuje uproszczoną postać:

$$s_{DP} = \frac{Q \ln \frac{a_1' a_1'' a_2' a_2''}{a_p' a_p'' a_p' a_p''}}{2\pi k M} \quad (14)$$

przy czym:

$$\begin{aligned} a_1' &= \sqrt{(x_p + x_1)^2 + (y_p - y_1)^2} & a_2' &= \sqrt{(x_p + x_2)^2 + (y_p - y_2)^2} \\ a_1'' &= \sqrt{(x_p - x_1)^2 + (y_p + y_1)^2} & a_2'' &= \sqrt{(x_p - x_2)^2 + (y_p + y_2)^2} \\ a_1''' &= \sqrt{(x_p + x_1)^2 + (y_p + y_1)^2} & a_2''' &= \sqrt{(x_p + x_2)^2 + (y_p + y_2)^2} \\ a_p' &= \sqrt{(x_p - x_1)^2 + (y_p - y_1)^2} & a_p'' &= \sqrt{(x_p - x_2)^2 + (y_p - y_2)^2} \end{aligned}$$

gdzie:

- a_p', a_p'' — odległość punktu pomiarowego P odpowiednio od studni S-1 i S-2 [m],
- a_2', a_2'', a_2''' — odległość punktu pomiarowego P od studni fikcyjnych S-2', S-2'' i S-2''', [m],
- s_{DP} — obniżenie zwierciadła wód podziemnych w punkcie P [m],
- x_p, y_p — odległości punktu P od granic zasilania [m].

Pozostałe objaśnienia przedstawiono powyżej.

Wielkość obniżenia zwierciadła wody, dla warstwy wodonośnej o zwierciadle swobodnym, w rejonie dwóch studni współdziałających położonych w pobliżu prostopadłych granic zasilania określono z relacji (15), które otrzymano po przekształceniu wzorów 10—14. Ostatecznie otrzymano następującą zależność:

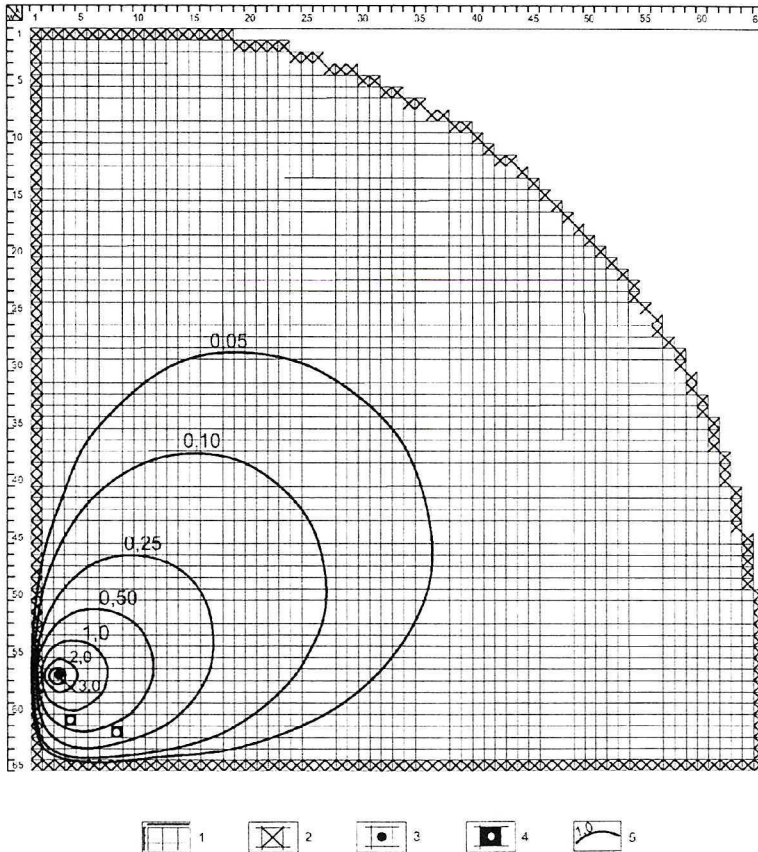
$$s_{PD} = 2M - \sqrt{M^2 - \frac{Q_1 \ln \frac{a_1' a_1''}{a_p' a_p''}}{\pi k}} - \sqrt{M^2 - \frac{Q_2 \ln \frac{a_2' a_2''}{a_p' a_p''}}{\pi k}} \quad (15)$$

3. Badania modelowe

Przygotowanie modelu matematycznego ujęcia infiltracyjnego, składającego się z jednej lub dwóch studni, oraz wykonanie obliczeń symulacyjnych przeprowadzone zostało przy wykorzystaniu programów komputerowych z biblioteki HYDRYLIB (Kulma 1995). Na jednowar-

stwowym, dwuwymiarowym modelu obszaru filtracji zrealizowano obliczenia ustalonych warunków przepływu strumienia wód podziemnych, dla naporowej i swobodnej warstwy wodonośnej (tab. 2 i 5 — patrz rozdz. 4).

Wykonanie badań modelowych wymagało dyskretyzacji obszaru filtracji, który został podzielony na 3547 kwadratowych bloków obliczeniowych (rys. 3) o wymiarach $\Delta x = \Delta y = 12,5$ m. Studnie eksploatacyjne brzegowego ujęcia infiltracyjnego modelowano w środkach ciężkości bloków. Zewnętrzne granice modelu odzwierciedlają z jednej strony schematyczny przebieg granic zasilających (rzek), zaś z drugiej — zdyskretyzowany kontur leja depresji.



Rys. 3. Model obszaru filtracji w rejonie ujęcia położonego w pobliżu dwóch prostokątnych granic zasilania
 1 — podział obszaru badań na bloki obliczeniowe z numeracją wierszy i kolumn, 2 — bloki obliczeniowe z zadaniem warunkiem brzegowym I rodzaju, 3, 4 — bloki obliczeniowe modelujące studnie z zadaniem warunkiem brzegowym III rodzaju w wariantach dla jednej (3) i dwóch (4) studni, 5 — bloki z zadaniem warunkiem I rodzaju $Q = 0$, 6 — izolinie obniżonego zwierciadła wód podziemnych przy eksploatacji jednego otworu ($s = 10$ m), w [m]

Fig. 3. Model of the filtration area in the region of a well intake located near two perpendicular recharge boundaries
 1 — division of the study area into grid counting blocks with numbered rows and columns,
 2 — Grid counting blocks with assigned type I boundary condition, 3, 4 — grid counting blocks modelling a well with assigned type III boundary condition with variants for one (3) and two (4) wells, 5 — blocks with assigned type I condition $Q = 0$, 6 — isoline of lowered groundwater table during exploitation of a single well ($s = 10$ m), in [m]

4. Wyniki prognoz hydrogeologicznych

Prognozy hydrogeologiczne, wykonane dla brzegowego ujęcia infiltracyjnego jedno- i dwu-otworowego, dały możliwość porównania wyników uzyskanych za pomocą wzorów analitycznych i na modelu matematycznym. Obliczenia symulacyjne na modelu hydrogeologicznym dają dokładniejszy i bardziej wiarygodny obraz warunków przepływu i obniżenia zwierciadła wody w rejonie ujęcia niż obliczenia analityczne. Dokładność prognoz modelowych zależy między innymi od przyjętego podziału warstwy wodonośnej na bloki obliczeniowe. Dyskretyzacja obszaru filtracji umożliwiła poprawne odwzorowanie granic zasilających i położenie studni eksploatacyjnych. Dla rzeczywistych warunków stwarza ponadto możliwości uwzględnienia niejednorodności ośrodka skalno-gruntowego.

Z badań modelowych uzyskano wydajność studni oraz wielkość obniżenia zwierciadła wody w centrach bloków obliczeniowych. Na podstawie istniejących wzorów (Turek, red., 1977) dla jednej studni (równania 1—4) i relacji wyprowadzonych przez autorów dla dwóch studni współdziałających (wzory 8—15) obliczono wydajności otworów i depresje. W przypadku studni współdziałających wydatki otworów obliczono dla sytuacji gdy są one sobie równe ($Q_1 = Q_2$), jak i różne ($Q_1 \neq Q_2$). W niniejszej pracy porównano obniżenia zwierciadła wody tylko dla wybranych punktów obszaru filtracji.

Błąd obliczenia wydajności ujęcia metodą analityczną określono z następującej zależności:

$$B_Q = \frac{Q_M - Q_A}{Q_M} \cdot 100\% \quad (16)$$

gdzie:

Q_M — wydatek ujęcia uzyskany z modelu matematycznego [m^3/d],

Q_A — wydatek ujęcia obliczony analitycznie [m^3/d].

Błąd określenia depresji zwierciadła wody obliczonej formułami analitycznymi oceniono z zależności:

$$B_s = \frac{s_M - s_A}{s_M} \cdot 100\% \quad (17)$$

gdzie:

s_M — obniżenie zwierciadła wody uzyskane z modelu matematycznego [m],

s_A — obniżenie zwierciadła wody obliczone analitycznie, gdzie $s_A = s_p$ lub $s_A = s_{DP}$ [m].

4.1. Ujęcie studzienne jednootworowe

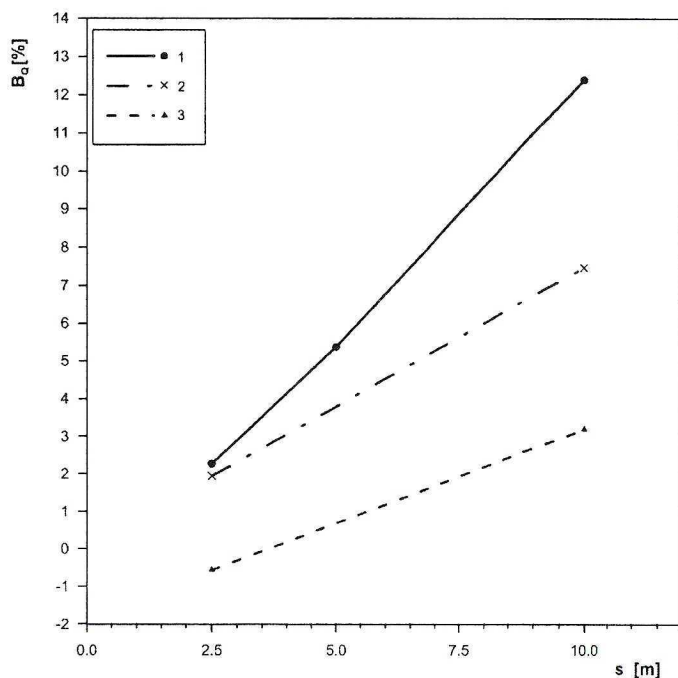
Z obliczeń wynika, że wydatek studni ujmującej naporową warstwę wodonośną ograniczoną dwoma prostopadłymi granicami zasilania (Turek, red., 1977) obliczony wzorem (1) jest bardzo dokładny, a błąd jego określenia jest niezależny od przewodności warstwy wodonośnej

i depresji w studni (tab. 2). Większe błędy przy prognozowaniu wydajności ujęcia popelnia się w warunkach swobodnego przepływu wód podziemnych. Błędy wzrastają wraz ze zwiększaniem się depresji od około +2,0% przy depresji 2,5 m do ponad +13,0% przy depresji 10,0 m, co oznacza zaniżenie dopływów obliczonych analitycznie (tab. 2, rys. 4).

TABELA 2
Wielkości błędów względnych analitycznego określenia wydajności pojedynczej studni dla wybranych wariantów obliczeniowych

TABLE 2
Amount of relative analytical error defining the discharge capacity of a single well for selected calculation variants

Depresja w studni s [m]	Odległość studni, [m]		Błąd względny obliczeń B_Q [%]			
			warunki naporowe		warunki swobodne	
			przewodność warstwy wodonośnej			
	od rzeki A	od rzeki B	T = 50 m ² /d	T = 200 m ² /d	T = 50 m ² /d	T = 200 m ² /d
2,5	25	25	-0,58	-0,54	+2,54	+2,58
	50	50	-0,71	-0,68	—	—
	75	75	-0,72	-0,66	—	—
	100	100	-0,68	-0,61	+1,92	+1,95
	25	100	-0,73	-0,67	+2,27	+1,93
	50	75	-0,72	-0,66	+2,27	+1,97
5,0	25	25	-0,61	-0,51	+5,88	+5,90
	50	50	-0,75	-0,63	—	—
	75	75	-0,72	-0,66	—	—
	100	100	-0,68	-0,61	+4,56	+4,61
	25	100	-0,73	-0,64	+5,40	+4,84
	50	75	-0,72	-0,66	+5,37	+4,88
10,0	25	25	-0,61	-0,55	+13,26	+13,31
	50	50	-0,73	-0,68	—	—
	75	75	-0,70	-0,66	—	—
	100	100	-0,68	-0,64	+10,67	+10,72
	25	100	-0,72	-0,68	+12,43	+11,49
	50	75	-0,72	-0,66	+12,39	+11,46



Rys. 4. Przykładowe wykresy błędów analitycznego określenia wydajności studni ujmującej warstwę wodonosną o zwierciadle swobodnym

1 — ujęcie jednotworowe położone w odległości 50 i 75 m od granic zasilania, 2, 3 — ujęcie dwuotworowe położone w odległości 25 i 100 m — studnia S-1 (2) oraz 100 i 100 m — studnia S-2 (3) od granic zasilania

Fig. 4. Example of analytical error curves defining the output capacity of wells tapping an unconfined aquifer layer
1 — single holed intake located at a distance of 50 and 75 m from the recharge boundary, 2, 3 — double holed intake located at a distance of 25 and 100 m — well no. S-1 (2) as well as 100 and 100 m — well no. S-2 (3) from the recharge boundary

Podobne tendencje rozkładu błędów obserwuje się przy obliczeniach wielkości obniżen zwierciadła wody w rejonie eksploatowanej studni. W warstwie wodonosnej o zwierciadle naporowym na ogół nie przekraczają one wartości $\pm 2,0\%$ i są głównie wynikiem dokładności obliczeń i odczytu rezultatów badań. Maksymalne wartości błędów oceny depresji odnoszą się do warstwy wodonosnej o zwierciadle swobodnym (tab. 3 i 4 i rys. 5). Zwiększają się wraz ze wzrostem depresji i najczęściej mieszczą się w przedziale od $\pm 4,0$ do $\pm 20\%$.

4.2. Ujęcie studzienne dwuotworowe

W przypadku dwóch współdziałających otworów położonych w pobliżu prostopadłych granic zasilania (rys. 2), ich wydajności, określone wzorami (8—11), są bardzo dokładne, zwłaszcza gdy studnie ujmują warstwę wodonosną o zwierciadle naporowym. Gdy eksploatowana warstwa wodonosna ma zwierciadło swobodne, maksymalny błąd oceny wydajności

Wielkości błędów względnych przy analitycznym obliczaniu obniżenia zwierciadła wód podziemnych między studnią a granicą lejca depresji

TABLE 3

Amount of relative analytical error during analytical calculation of the water table drawdown between the well and the boundary of the depression cone.

Warunki filtracji	Depresja w studni s [m]	Odległość studni		Błąd względny obliczeń B _s [%]											
		od rzeki A x ₀ [m]	od rzeki B y ₀ [m]	przewodność warstwy wodonośnej T = 50 m ² /d						przewodność warstwy wodonośnej T = 200 m ² /d					
				odległość od studni w kierunku przeciwnym do granicy A (równoległe do B) [m]											
				12,5	50	100	150	200	250	12,5	50	100	150	200	250
naporowe	s = 2,5	25	25	+2,59	+2,10	+1,89	0	0	0	+2,61	+2,12	+1,90	0	0	0
		100	100	+1,03	-0,57	-1,09	-2,03	-4,12	-6,98	+1,13	-0,34	-1,09	-2,03	-4,12	-6,98
		25	100	+1,89	-0,19	-0,59	-1,04	-2,63	-3,20	+2,01	0	-0,61	-1,06	-2,65	-3,22
		50	75	+1,49	-0,15	-0,51	-1,15	-2,76	-2,78	+1,48	-0,17	-0,53	-1,17	-2,78	-2,79
	s = 5,0	25	25	+2,54	+2,13	+1,92	0	0	0	+2,69	+2,54	+1,90	0	0	0
		100	100	+1,08	-0,45	-1,09	-2,03	-3,51	-5,10	+1,13	-0,34	-1,09	-2,03	-2,92	-5,10
		25	100	+1,93	0	-0,62	-1,08	-1,51	-3,24	+1,94	0	-0,61	-1,06	-1,49	-3,22
	s = 10,0	50	75	+1,46	-0,19	-0,55	-1,19	-1,67	-2,81	+1,53	-0,18	-0,54	-1,18	-1,66	-2,80
		25	25	+2,56	+2,33	+1,05	0	0	0	+2,61	+2,33	+1,05	0	0	0
		100	100	+1,08	-0,40	-0,99	-1,66	-2,92	-5,10	+1,13	-0,35	-0,99	-1,67	-2,92	-4,65
		25	100	+1,91	0	-0,80	-1,06	-1,49	-2,31	+1,97	+0,06	-0,61	-1,06	-1,50	-2,31
	swobodne	s = 2,5	50	75	+1,46	-0,17	-0,69	-0,85	-1,65	-2,79	+1,50	-0,10	-0,53	-0,87	-1,65
25			25	+0,71	-1,39	+1,89	0	0	0	+0,73	-1,37	+1,91	0	0	0
100			100	-0,44	-3,35	-3,74	-4,28	-5,32	-6,96	-0,36	-3,37	-3,76	-4,31	-5,35	-6,99
25			100	+0,36	-2,81	-3,74	-5,34	-5,04	-7,06	+0,36	-2,81	-3,74	-5,34	-5,04	-7,05
s = 5,0		50	75	-0,10	-3,28	-3,98	-3,81	-5,12	-6,61	-0,10	-3,28	-3,98	-3,81	-5,12	-6,61
		25	25	-1,27	-3,73	-5,40	-7,87	0	-14,07	-1,14	-3,69	-5,36	-7,83	0	-14,03
		100	100	+4,59	-6,34	-8,03	-9,16	-10,56	-11,99	-2,16	-6,20	-8,02	-9,15	-10,54	-11,98
s = 10,0		25	100	-1,48	-5,72	-7,05	-7,60	-8,83	-9,07	-1,48	-5,92	-7,05	-7,60	-8,83	-9,07
		50	75	-1,96	-6,23	-7,66	-8,01	-8,82	-10,71	-1,90	-6,23	-7,66	-8,01	-8,82	-10,71
		25	25	-5,83	-10,77	-14,94	-13,50	-15,18	-14,03	-5,79	-10,77	-14,94	-13,51	-15,18	-14,03
		100	100	+14,64	-14,09	-17,11	-18,82	-19,79	-22,26	-6,65	-14,02	-17,12	-18,83	-19,79	-22,27
s = 10,0		25	100	-5,86	-12,90	-1,34	+0,62	-17,32	-17,97	-5,86	-12,90	-15,11	-15,95	-17,32	-17,97
	50	75	-6,50	-13,85	-16,33	-17,54	-18,59	-19,93	-6,53	-13,95	-16,33	-17,54	-18,59	-19,93	

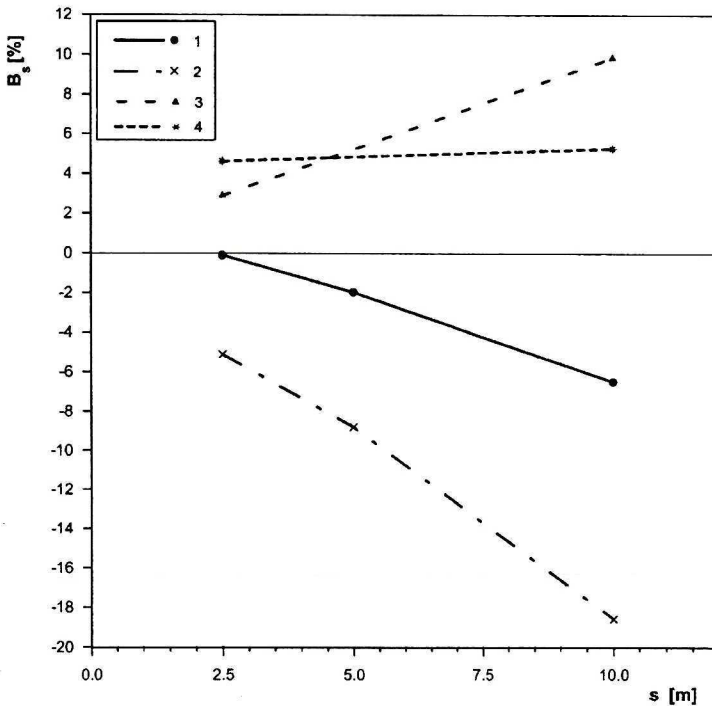
TABELA 4

Wielkości błędów względnych przy analitycznym obliczaniu obniżenia zwierciadła wód podziemnych między studnią a granica zasilającą (rzeką)

TABLE 4

Amount of relative analytical error during analytical calculation of the water table drawdown between the well and the recharge boundary (river)

Warunki filtracji	Depresja w studni s [m]	Odległość studni		Błąd względny obliczeń B _s [%]											
		od rzeki A x ₀ [m]	od rzeki B y ₀ [m]	przewodność warstwy wodonośnej T = 50 m ² /d						przewodność warstwy wodonośnej T = 200 m ² /d					
				odległość od studni w kierunku granicy zasilającej A (równoległe do B) [m]											
				12,5	25	37,5	50	75	87,5	12,5	25	37,5	50	75	87,5
naporowe	s = 2,5	25	25	+2,52	—	—	—	—	—	—	+2,54	—	—	—	—
		100	100	—	+0,77	—	-0,33	0	-0,98	—	+0,77	—	0	-0,56	-0,98
		25	100	+2,36	—	—	—	—	—	—	+2,34	—	—	—	—
		50	75	—	+1,72	+0,98	—	—	—	—	—	+1,70	+0,96	—	—
	s = 5,0	25	25	+2,45	—	—	—	—	—	—	+2,54	—	—	—	—
		100	100	—	+0,77	—	-0,18	0	0	—	+0,84	—	-0,18	-0,24	0
		25	100	+2,33	—	—	—	—	—	—	+2,44	—	—	—	—
	s = 10,0	50	75	—	+1,57	+0,94	—	—	—	—	—	+1,69	+0,95	—	—
		25	25	+2,48	—	—	—	—	—	—	+2,54	—	—	—	—
		100	100	—	+0,81	—	-0,18	+0,28	-0,32	—	+0,84	—	-0,11	-0,41	-0,33
		25	100	+2,34	—	—	—	—	—	—	+2,39	—	—	—	—
		50	75	—	+1,59	+0,96	—	—	—	—	—	+1,64	+0,96	—	—
swobodne	s = 2,5	25	25	+0,31	—	—	—	—	—	—	+0,55	—	—	—	—
		100	100	—	-1,43	—	-3,59	-3,88	-5,11	—	-1,46	—	-3,34	-3,81	-5,13
		25	100	+0,16	—	—	—	—	—	—	+0,16	—	—	—	—
		50	75	—	-0,94	-2,23	—	—	—	—	-0,94	-2,23	—	—	—
	s = 5,0	25	25	+1,30	—	—	—	—	—	—	-2,00	—	—	—	—
		100	100	—	-4,12	—	-6,70	-7,83	-8,10	—	-4,02	—	-6,52	-7,82	-8,09
		25	100	-2,32	—	—	—	—	—	—	-2,43	—	—	—	—
	s = 10,0	50	75	—	-3,84	-5,61	—	—	—	—	—	-3,84	-5,61	—	—
		25	25	-7,58	—	—	—	—	—	—	-7,52	—	—	—	—
		100	100	—	-10,58	—	-14,85	-17,07	-18,06	—	-10,49	—	-14,86	-17,08	-17,62
		25	100	-8,10	—	—	—	—	—	—	-8,16	—	—	—	—
		50	75	—	-10,92	-14,12	—	—	—	—	—	-10,99	-14,12	—	—



Rys. 5. Przykładowe wykresy błędów analitycznego określenia obniżenia zwierciadła wody studni ujmującej warstwę wodonośną o zwierciadle swobodnym

1, 2 — ujęcie jednotworowe położone w odległości 50 i 75 m od granic zasilenia — obniżenie od studni w odległości 12,5 (1) i 200 m (2), 3, 4 — ujęcie dwuotworowe położone w odległości 25 i 100 m — studnia S-1 (3) oraz 100 i 100 m — studnia nr 2 (4) od granic zasilenia — obniżenie od studni S-2 w odległości 12,5 m (3) i 200 m (4)

Fig. 5. Example of analytical error curves defining the drawdown of the water table in a well tapping an unconfined aquifer layer

1, 2 — single holed intake located at a distance of 50 and 75m from the recharge boundary — drawdown from the well at 12.5 (1) and 200 m (2), 3, 4 — double holed intake located at a distance of 25 and 100 m — well no. S-1 (3) as well as 100 and 100 m — well no. 2 (4) from the recharge boundary — drawdown from well S-2 at a distance of 12.5 (3) and 200 m (4)

(tab. 5, rys. 4) nie przekracza +8%. Relacje (8—11) można także wykorzystywać w obliczeniach, gdy wydajności studni są różne ($Q_1 \neq Q_2$), ale uzyskane przy tych samych depresjach ($s_1 = s_2$).

Dużą zbieżność wielkości depresji w rejonie współdziałających studni otrzymano z obliczeń analitycznych (wzory 13—15) i badań modelowych dla warstwy wodonośnej o zwierciadle naporowym. Na ogół błędy nie przekraczają $\pm 2,0\%$. Większe wartości dochodzące do około $-5,0\%$ są związane głównie z dokładnością odczytu wyników symulacji. W warunkach swobodnego przepływu wód podziemnych błędy określenia obniżenia zwierciadła wody (tab. 6 i 7, rys. 5) zawierają się w przedziale od około -5 do około $+10\%$.

TABELA 5

Wielkości błędów względnych analitycznego obliczenia wydajności dwóch studni współdziałających

TABLE 5

Amount of relative analytical error in calculating the discharge capacity of two wells working concurrently

Wy- datek otworu	Depre- sja w studni s [m]	Odległość od studni nr				Błąd względny B_0 [%]							
						warunki naporowe				warunki swobodne			
		przewodność warstwy wodonośnej				T = 50 m ² /d		T = 200 m ² /d		T = 50 m ² /d		T = 200 m ² /d	
		do rzeki, [m]				numer studni							
		A	B	A	B	1	2	1	2	1	2	1	2
$Q_1 = Q_2$	$s_1 = s_2 = 2,5$	25	50	50	25	-0,45	-0,45	-0,40	-0,40	+0,80	+0,80	+0,88	+0,88
		25	75	75	25	-0,29	-0,29	-0,62	-0,62	—	—	—	—
		50	75	75	50	-0,45	-0,45	-0,45	-0,45	+0,47	+0,47	+0,38	+0,38
		25	100	100	25	-0,65	-0,65	-0,61	-0,61	+0,76	+0,76	+0,68	+0,68
		50	100	100	50	-0,59	-0,59	-0,55	-0,55	—	—	—	—
		75	100	100	75	-0,39	-0,39	-0,37	-0,37	+0,73	+0,73	+0,73	+0,73
$Q_1 = Q_2$	$s_1 \neq s_2 \approx 2,3-2,8$	25	100	100	100	-0,64	-0,64	—	—	+0,43	+0,35	—	—
$Q_1 \neq Q_2$	$s_1 = s_2 = 2,5$	25	25	50	25	-0,37	-1,72	-0,39	-1,54	—	—	—	—
		50	50	50	25	-2,57	-0,48	-2,38	+0,41	—	—	—	—
		25	25	75	25	-0,14	-1,25	-0,47	-1,06	—	—	—	—
		25	75	75	75	+0,61	-1,68	+0,59	-1,91	—	—	—	—
		50	75	75	25	-1,17	+0,08	-1,38	+0,23	-0,71	+1,27	-0,29	+1,46
		25	100	100	100	+0,37	-1,72	+0,60	-1,83	+1,94	-0,57	+1,79	-1,05
		25	75	100	50	-0,07	-1,24	0,00	-1,19	—	—	—	—
		50	100	100	75	-0,35	-1,57	+0,11	-1,08	—	—	—	—
$Q_1 = Q_2$	$s_1 = s_2 = 10,0$	25	50	50	25	-0,40	-0,40	-0,37	-0,37	+6,24	+6,24	+6,28	+6,28
		25	75	75	25	-0,62	-0,62	-0,58	-0,58	—	—	—	—
		50	75	75	50	-0,45	-0,45	-0,40	-0,40	+4,72	+4,72	+4,70	+4,70
		25	100	100	25	-0,70	-0,70	-0,63	-0,63	+6,63	+6,63	+6,62	+6,62
		50	100	100	50	-0,61	-0,61	-0,56	-0,56	—	—	—	—
		75	100	100	75	-0,42	-0,42	-0,39	-0,39	+4,43	+4,43	+4,46	+4,46
$Q_1 = Q_2$	$s_1 \neq s_2 \approx 8,5-10,5$	25	100	100	100	—	—	-0,70	-0,65	—	—	+4,71	+5,19
$Q_1 \neq Q_2$	$s_1 = s_2 = 10,0$	25	25	50	25	-0,39	-1,50	-0,38	-1,64	—	—	—	—
		50	50	50	25	-2,38	+0,32	-2,49	+0,52	—	—	—	—
		25	25	75	25	-0,47	-1,06	-0,56	-1,06	—	—	—	—
		25	75	75	75	+0,59	-2,07	+0,78	-2,13	—	—	—	—
		50	75	75	25	-1,38	+0,04	-1,17	+0,13	+4,41	+7,04	+4,16	+6,70
		25	100	100	100	+0,52	-1,88	+0,52	-1,76	+7,47	+3,18	+7,71	+2,76
		25	75	100	50	-0,18	-1,19	-0,09	-1,19	—	—	—	—
		50	100	100	75	-0,11	-1,08	+0,01	-0,84	—	—	—	—

Wielkość błędów względnych przy analitycznym obliczaniu obniżenia zwierciadła wód podziemnych między dwoma współdziałającymi studniami a granicą leżącej depresji

TABLE 6

Amount of relative analytical error during analytical calculation of the water table drawdown between two wells working concurrently and the boundary of the depression cone

Warunki filtracji	Wydajność studni	Depresja w studni s [m]	Odległość studni nr [m]		Błąd względny B _i [%]													
					przewodność warstwy wodonośnej T = 50 m ² /d							przewodność warstwy wodonośnej T = 200 m ² /d						
			1	2	odległość od studni nr 2 w kierunku przeciwnym do granicy A (równoległe do B) [m]													
			od rzeki				12,5	50	100	250	200	250	12,5	50	100	150	200	250
A	B	A	B															
naporowe	Q ₁ = Q ₂	s ₁ = s ₂ = 2,5	25	50	50	25	+1,66	+1,24	+0,61	+1,92	0	+3,75	+1,70	+1,74	+0,61	+1,54	0	+3,75
			25	100	100	25	+2,17	+1,61	-0,66	-1,72	-4,38	-4,00	+2,14	+1,56	+0,97	-1,72	-4,38	-4,00
	Q ₁ = Q ₂	s ₁ ≠ s ₂ ≈ 2,4–2,8	25	100	100	100	+0,92	-0,56	-1,22	-2,05	-2,50	-4,19	—	—	—	—	—	—
	Q ₁ ≠ Q ₂	s ₁ = s ₂ = 2,5	25	100	100	100	-0,04	1,21	-1,92	-2,41	-4,02	-5,00	+0,05	-1,21	-1,92	-2,41	-4,02	-5,00
	Q ₁ = Q ₂	s ₁ = s ₂ = 10,0	25	50	50	25	+1,66	+1,52	+1,08	+0,39	0	-3,00	+1,73	+1,52	+1,08	+0,78	0	-3,00
			25	100	100	25	+2,06	+1,30	+0,20	-1,03	-1,36	-4,25	+2,14	+1,45	+0,20	-1,03	-1,36	-4,25
Q ₁ = Q ₂	s ₁ ≠ s ₂ ≈ 8,9–10,8	25	100	100	100	—	—	—	—	—	—	+0,89	-0,48	-1,04	-1,70	-2,92	-4,71	
Q ₁ ≠ Q ₂	s ₁ = s ₂ = 10,0	25	100	100	100	0	-1,26	-1,82	-2,39	-3,56	-5,31	+0,04	-1,22	-1,74	-2,41	-3,56	-5,35	
swobodne	Q ₁ = Q ₂	s ₁ = s ₂ = 2,5	25	50	50	25	+2,89	+2,49	+1,75	-0,42	+4,62	-2,86	+3,07	+3,01	+1,75	-0,42	+4,62	-2,86
			25	100	100	25	+3,52	+2,46	+2,37	+1,07	+1,88	+2,00	+3,37	+2,46	+2,37	+1,07	+1,88	+2,00
	Q ₁ = Q ₂	s ₁ ≠ s ₂ ≈ 2,3–2,7	25	100	100	100	+2,52	+0,87	0	-0,61	-1,75	-3,38	—	—	—	—	—	
	Q ₁ ≠ Q ₂	s ₁ = s ₂ = 2,5	25	100	100	100	+1,54	+0,14	-0,42	-1,23	-2,78	-4,69	+1,64	+0,14	-0,42	-1,23	-2,78	-4,69
	Q ₁ = Q ₂	s ₁ = s ₂ = 10,0	25	50	50	25	+8,87	+8,30	+7,85	+7,11	+7,44	+3,33	+8,92	+8,46	+7,90	+7,11	+7,44	+3,33
			25	100	100	25	+9,86	+8,69	+7,50	+6,53	+5,28	+5,15	+9,86	+8,69	+7,50	+6,53	+5,28	+5,15
Q ₁ = Q ₂	s ₁ ≠ s ₂ ≈ 8,5–10,8	25	100	100	100	—	—	—	—	—	—	+9,26	+6,66	+2,88	+4,54	+3,37	+1,79	
Q ₁ ≠ Q ₂	s ₁ = s ₂ = 10,0	25	100	100	100	+7,89	+5,53	+4,44	+3,65	+2,38	+0,51	+7,84	+5,47	+4,33	+3,46	+2,38	+0,51	

TABELA 7

Wielkość błędów względnych przy analitycznym obliczaniu obniżenia zwierciadła wód podziemnych między dwoma współdziałającymi studniami a granicą zasilającą (rzeką)

TABLE 7

Amount of relative analytical error during analytical calculation of the water table drawdown between two wells working concurrently and the recharge boundary (river)

Warunki filtracji	Wy-dajność studni	Depresja w studni s [m]	Odległość studni nr		Błąd względny B _i [%]																
							przewodność warstwy wodonośnej [m ² /d]														
			1		2		50			200			50			200					
							odległość od studni nr 2 [m]														
			do rzeki [m]				w kierunku granicy A (równoległe do B)								w kierunku przeciwnym do granicy B (równoległe do A)						
			A	B	A	B	12,5	25	37,5	87,5	12,5	25	37,5	87,5	12,5	25	75	12,5	25	75	
napo-rowe	Q ₁ = Q ₂	s ₁ = s ₂ = 2,5	25	50	50	25	+1,06	+3,41	+0,07	—	+1,22	+3,44	+0,11	—	+0,81	+2,02	—	+0,95	+2,06	—	
			25	100	100	25	+2,08	+2,13	—	+1,20	+2,04	+2,34	—	+1,20	+1,65	—	-0,38	+1,61	—	-0,27	
	Q ₁ = Q ₂	s ₁ ≠ s ₂ ≈ 2,4—2,8	25	100	100	100	+0,86	+0,66	—	+2,02	—	—	—	—	+0,85	—	—	—	—	—	
			25	100	100	100	+0,11	+0,05	—	+2,89	+0,20	+0,16	—	+2,93	+0,06	—	—	+0,05	—	—	
	Q ₁ ≠ Q ₂	s ₁ = s ₂ = 2,5	25	50	50	25	+1,13	+3,40	+0,22	—	+1,19	+3,44	+0,22	—	+0,89	+2,03	—	+1,31	+2,21	—	
			25	100	100	25	+2,00	+2,13	—	+2,23	+2,08	+2,22	—	+2,23	+1,59	—	-0,43	+1,65	—	-0,36	
Q ₁ = Q ₂	s ₁ ≠ s ₂ ≈ 8,9—10,6	25	100	100	100	—	—	—	—	+0,90	+0,60	—	+1,76	—	—	—	+0,86	—	—		
		25	100	100	100	+0,15	+0,10	—	+2,88	+0,18	+0,15	—	+2,92	+0,02	—	—	+0,06	—	—		
swo-bodne	Q ₁ = Q ₂	s ₁ = s ₂ = 2,5	25	50	50	25	+2,44	+4,62	+1,38	—	+2,47	+4,66	+1,42	—	+2,18	+3,22	—	+2,22	+3,39	—	
			25	100	100	25	+3,45	+3,63	—	+3,54	+2,97	+3,39	—	+3,54	+2,97	—	+1,25	+2,97	—	+0,97	
	Q ₁ = Q ₂	s ₁ ≠ s ₂ ≈ 2,3—2,7	25	100	100	100	+2,68	+2,45	—	+3,20	—	—	—	—	+2,44	—	—	—	—	—	
			25	100	100	100	+1,92	+1,98	—	+4,47	+2,01	+1,98	—	+4,47	+1,74	—	—	+1,74	—	—	
	Q ₁ ≠ Q ₂	s ₁ = s ₂ = 2,5	25	50	50	25	+8,57	+10,46	+7,10	—	+8,57	+10,52	+7,21	—	+8,42	+9,43	—	+8,49	+9,48	—	
			25	100	100	25	+9,97	+9,71	—	+4,37	+9,53	+9,71	—	+4,37	+9,53	—	+7,25	+9,53	—	+7,25	
Q ₁ = Q ₂	s ₁ ≠ s ₂ ≈ 8,5—10,8	25	100	100	100	—	—	—	—	+9,98	+9,57	—	+8,42	—	—	—	+9,57	—	—		
		25	100	100	100	+8,89	+10,63	—	+10,63	+8,96	+9,08	—	+10,68	+8,38	—	—	+8,33	—	—		

LITERATURA

- Turek S. (red.), 1977 — Poradnik hydrogeologa. Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- Haładus A., Kulma R., Frączek P., 1999 — Wykorzystanie badań modelowych do oceny błędów wyników obliczeń analitycznych infiltracyjnego ujęcia wód podziemnych. *Gosp. Sur. Min.* t. 15, z. 1.
- Haładus A., Kulma R., Rychlik P., 2000 — Dokładność prognoz hydrogeologicznych wykonywanych dla studni położonej na obszarze międzyrzecza. *Gosp. Sur. Min.* t. 16, z. 2.

ANDRZEJ HAŁADUS, RYSZARD KULMA

ANALYSIS OF INFLOWS TO WELLS LOCATED CLOSE TO PERPENDICULAR RECHARGE BOUNDARIES**Key words**

Hydrogeology, groundwater intake, prognostic calculations

Abstract

The increased demand for water has caused that problems involving retention and artificial recharge of groundwater have become one of the most important water management problems. In practice there are often hydrogeological situations where the capacity of the water bearing environment is too small to satisfy demand. The lack of adequate viable sources of groundwater supply suggests utilizing surface waters to artificially recharge water bearing rock layers. This would allow the discharge capacity of water wells to be increased. An accurate hydrogeological prognosis of the effects of a well working within these conditions hence has a much greater practical significance. The prognosis is performed using analytical methods or more reliable, mathematical modelling.

This paper represents an estimation of the accuracy of hydrogeological prognosis for single and double well bank infiltration stations located in the vicinity of perpendicular recharge boundaries. These prognosis were realized by comparing the results obtained by analytical and modelling methods for wells exploiting both the confined and unconfined layers. In total 140 variant solutions were realized. Analytical calculations for two wells working in tandem were performed on the basis of equations introduced by the authors of the present paper.

The analytical accuracy defining the output capacity of a well under given boundary conditions and both hydrogeological and technical-exploitation parameters is 0—13% in the case of a single holed well intake and 0—8% for a double holed well intake. Meanwhile errors in calculating the drawdown of the water table can be 20% and 10%.