

OCENA ZASOBÓW EKSPLOATACYJNYCH UJĘCIA WODY GRABARÓW W JELENIEJ GÓRZE

ESTIMATION OF ADMISSIBLE RESOURCES IN THE GRABARÓW WATER INTAKE, JELENIA GÓRA

HENRYK MARSZAŁEK¹, MIROSLAW WĄSIK¹, JAROSŁAW KUDŁACIK²

Abstrakt. Badania modelowe z wykorzystaniem programu Visual ModFlow zostały wykonane w celu oceny zasobów eksploatacyjnych studni szybowych ujęcia infiltracyjnego wody Grabarów w Jeleniej Górze. Pozwoliły one oszacować wielkość zasobów eksploatacyjnych dla dziesięciu studni szybowych w wysokości 610 m³/h, a wydajności eksploatacyjne poszczególnych studni 30–80 m³/h. W zasilaniu studni szybowych zdecydowanie przeważają wody infiltrujące z rzeki Bóbr. Zwiększanie ich wydajności spowoduje wzrost udziału w zasilaniu infiltrujących wód powierzchniowych kosztem wód podziemnych o lepszej jakości. Wody Bobru dopływają do studni szybowych w czasie poniżej 5 dni. Natomiast wody podziemne, w mniejszym stopniu zasilające studnie szybowe, dopływają od granic wyznaczonego obszaru zasilania w czasie 6–10 lat.

Słowa kluczowe: modelowanie filtracji, zasoby eksploatacyjne, infiltracyjne ujęcie wody, Jelenia Góra.

Abstract. The Visual Modflow software was used for estimation of exploitable groundwater resources in the area of Grabarów water intake located in Jelenia Góra. The amount of resources calculated for ten dug wells reaches 610 m³/h and exploitable discharges of wells ranges from 30 to 80 m³/h. The wells are mainly recharged by surface water of the Bóbr river. Increase in discharge is followed by higher volume of infiltrating surface water at the expense of better quality groundwater. The maximum time of water inflow from the Bóbr river valley to the dug wells is below 5 days, whereas the time of ground water inflow is 6–10 years.

Key words: filtration modelling, exploitable groundwater resources, riverbank water intake, Jelenia Góra.

WSTĘP

Badania modelowe zostały wykonane w rejonie ujęcia wody Grabarów w Jeleniej Górze. Stanowiły one część prac wykonanych dla Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji Wodnik w Jeleniej Górze (Marszałek, Wąsik, 2007). Ujęcie obecnie prowadzi eksploatację m.in. z trzech z istniejących 10 studni szybowych. W związku z planowanym

włączeniem do eksploatacji wszystkich studni szybowych zostały wykonane prace mające na celu ocenę ich zasobów eksploatacyjnych. Istotnym elementem było również określenie warunków hydrodynamicznych panujących w rejonie ujęcia w trakcie eksploatacji na poziomie wyznaczonych zasobów eksploatacyjnych.

¹ Uniwersytet Wrocławski, Wydział Nauk o Ziemi i Kształtowania Środowiska, Instytut Nauk Geologicznych, pl. Maxa Borna 9, 50-205 Wrocław

² Arcadis Profil Sp. z o.o., ul. Tarnogajska 18, 50-512 Wrocław

CHARAKTERYSTYKA UJĘCIA

Ujęcie wody Grabarów w Jeleniej Górze eksploatuje wody powierzchniowe i infiltracyjne z rzeki Bóbr oraz wody podziemne. Wydajność ujęcia, pracującego w sposób ciągły, wynosi około 13 470 m³/d. Ujęcie zaopatruje 60% mieszkańców Jeleniej Góry. W skład ujęcia wchodzi 9 stawów infiltracyjnych, z których woda pobierana jest za pomocą drenażu poziomego i pionowego. Studnie drenażowe zlokalizowane są w bezpośredniej bliskości stawów infiltracyjnych, na zachód od Bobru i studni szybowych I i II i nie oddziałują w sposób znaczący na studnie szybowe, szczególnie zlokalizowane na północ od nich. Dodatkowo w skład ujęcia wchodzi 10 studni szybowych zlokalizowanych wzdłuż i w bezpośredniej bliskości rzeki (fig. 1). Obecnie eksploatowane są trzy z nich z łączną wydajnością 80 m³/h. Studnie szybowe o średnicy 3 m zostały wykonane do głębokości 8,8 m. Zupełnie marginalnie wykorzystywanych jest również 8 studni o głębokości 13–17 m, ujmujących wody podziemne (Marszałek, Wąsik, 2002).

Ujęcie Grabarów eksploatuje wody występujące w czwartorzędowych aluwialnych osadach piaszczysto-żwirowych i otoczkach, charakteryzujących się współczynnikiem fil-

tracji 75–95 m/d. W ich podłożu występuje zwietrzelina karbońskich granitów. Poza doliną Bobru poziom wodonośny tworzą zwietrzelina i rumosz granitów oraz karboński granit karkonoski, charakteryzujące się współczynnikiem filtracji około 1 m/d. Miąższość poziomu wodonośnego w dolinie Bobru wynosi około 10 m, a poza doliną 30–60 m (Bizoń, 1984; Marszałek, Wąsik, 2002). W rejonie ujęcia wody poziom wodonośny zasilany jest na drodze infiltracji wód opadowych, infiltracji wód powierzchniowych Bobru oraz dopływu bocznego. Odpływ wód podziemnych odbywa się generalnie wzdłuż doliny Bobru, zgodnie z jej spadkiem z SE na NW, oraz do doliny Bobru od strony struktur ją otaczających. Bóbr stanowi główną bazę drenażu w tym obszarze. Zwierciadło wody obniża się od 360–380 m n.p.m. w obrębie wzniesień granitowych do 335–340 m n.p.m. już w obrębie doliny Bobru. Charakterystyczne przepływy w rzece, będącej głównym źródłem zasilania studni szybowych, na wysokości ujęcia kształtują się następująco: SNQ = 3,64 m³/s, SSQ = 8,21 m³/s, SWQ = 29,06 m³/s (Marszałek, 2007).

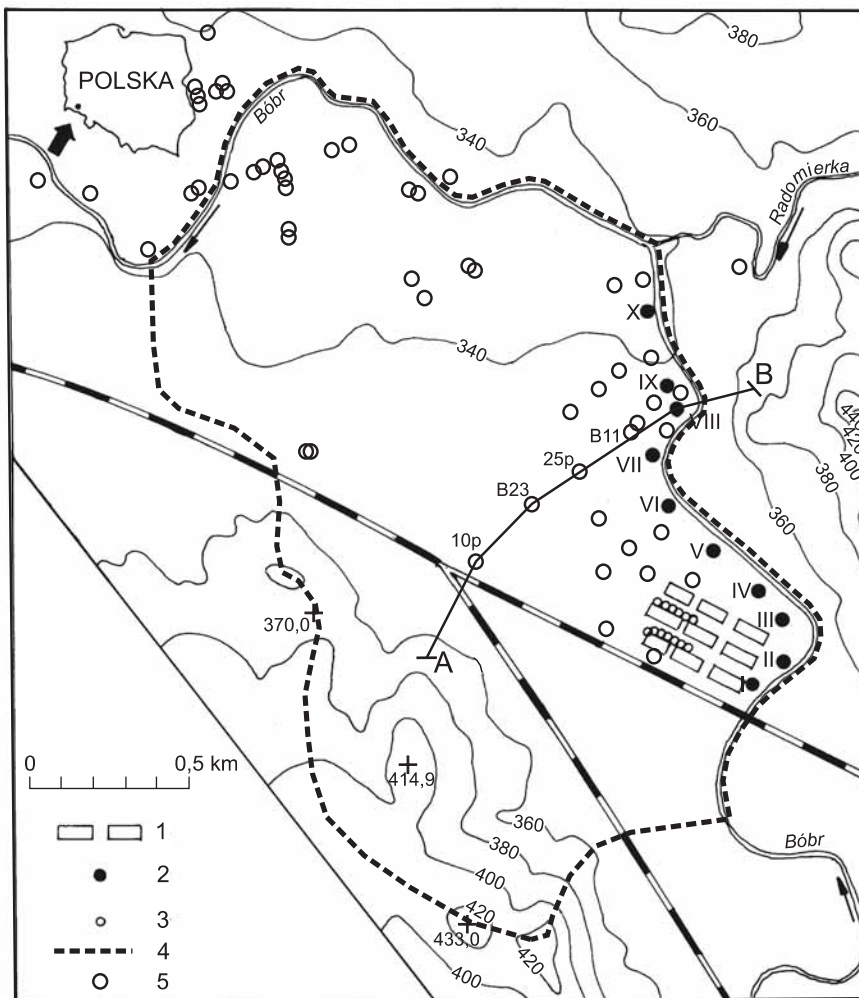


Fig. 1. Lokalizacja studni szybowych ujęcia Grabarów w Jeleniej Górze

1 – stawy infiltracyjne, 2 – studnie szybowe, 3 – studnie drenażowe, 4 – granica badań modelowych, 5 – inne otwory wiertnicze

Location of shaft wells, Grabarów water intake in Jelenia Góra

1 – infiltration ponds, 2 – shaft wells, 3 – drainage wells, 4 – boundary of model investigations, 5 – other boreholes

METODYKA BADAŃ

Numeryczny stacjonarny model filtracji został wykonany w programie Visual ModFlow dla obszaru o powierzchni 3,355 km², obejmującego obszar zasilania ujęcia Grabarów w Jeleniej Górze, w tym dolinę Bobru oraz wzniesienia granitowe w sąsiedztwie ujęcia, zlokalizowane poza doliną. Granice modelowanego obszaru zostały wyznaczone wzdłuż naturalnych barier hydrogeologicznych, do których należą rzeka Bóbr oraz wododział wód podziemnych biegnący przez wzniesienia granitowe w rejonie Góry Zamkowej.

Dyskretyzacja obszaru filtracji została wykonana jednolitą kwadratową siatką pól elementarnych o długości boku 25 m. Modelowany obszar został podzielony na 108 wierszy i 92 kolumny. Wyznaczona siatka ma zatem 9936 bloków obliczeniowych, w tym 5368 bloków aktywnych i taką samą liczbę węzłów obliczeniowych w centrum każdego z bloków. Jako podstawę warunków krążenia wód podziemnych przyjęto istnienie jednego poziomu wodonośnego o zwierciadle swobodno-naporowym, w obrębie którego wykonane zostały studnie szybowe ujęcia.

Przy konstrukcji modelu numerycznego wykorzystano dane z 78 otworów wiertniczych, informacje dotyczące wielkości prowadzonej eksploatacji wody w ujęciu, dane klimatyczne, szczególnie dotyczące wielkości opadów atmosferycznych, dane hydrologiczne obejmujące charakterystykę natężenia przepływów Bobru, a także informacje zawarte w dokumentacjach (Grześkowiak i in., 1988; Janicki i in., 1994; Zaleska i in., 1999). Biorąc pod uwagę powierzchnię, dla której wykonano model numeryczny (3,355 km²), oraz liczbę otworów wiertniczych, uzyskuje się gęstość ponad 23 otwory/km². Rozmieszczenie otworów w modelowanym obszarze jest jednak nierównomierne, ich największe zagęszczenie występuje w rejonie ujęcia wody oraz Strupic, dzielnicy Jeleniej Góry, zdecydowanie mniejsze w rejonie lotniska oraz w południowej części modelowanego obszaru obejmującego wzniesienia granitowe.

W skonstruowanym modelu numerycznym założono warunki brzegowe I, II i III rodzaju.

Warunek brzegowy I rodzaju $H = \text{const}$ (Dirichleta) został przyjęty na zewnętrznej, południowej i południowo-zachodniej granicy, w rejonie występowania wzniesień granitowych. Wartości wysokości zwierciadła wody zostały określone na podstawie morfologii terenu, natomiast rzędne występujących w tym rejonie źródeł oraz informacje dotyczące głębokości zalegania pierwszego poziomu wodonośnego według map hydrogeologicznych.

Warunek brzegowy II rodzaju $Q = 0$ (Neumana) został przyjęty dla niewielkiego odcinka zewnętrznej południowej granicy obszaru badań, w miejscu, gdzie na podstawie mapy hydroizohips stwierdzono brak przepływu wody. Warunek brzegowy II rodzaju $Q = \text{const}$ został przyjęty również w postaci stałego zasilania powierzchniowego, jako infiltracja efektywna opadów w wysokości od 57 do 179 mm/rok, oraz jako stały dopływ lub odpływ do poziomu wodonośnego w obrębie doliny Bobru, a także jako wielkość prowadzonej

eksploatacji wód podziemnych. Warunkiem tym został również odwzorowany dopływ od strony wzniesień granitowych. Wielkości przepływów na granicach zostały wyznaczone dla poszczególnych bloków obliczeniowych metodą hydrodynamiczną.

Warunek brzegowy III rodzaju zastosowano w celu odwzorowania wpływu zwierciadła wody Bobru na poziom wód podziemnych. Został on poprowadzony na rzece ze względu na jej położenie w brzeżnej części doliny i niewielką w związku z tym możliwość wymuszonego zasilania studni szybowych wodami podziemnymi napływającymi pod dnem rzeki (fig. 2).

Największym problemem w trakcie konstrukcji modelu numerycznego była niejednorodność informacji możliwa do uzyskania z otworów archiwalnych. Poza danymi o położeniu zwierciadła wody oraz spągu warstwy piaszczysto-żwirowej, dane dotyczące parametrów filtracyjnych utworów wodonośnych, zasilania infiltracyjnego, zasobów dynamicznych były znacznie uboższe.

Głównym celem postawionym przed badaniami modelowymi było:

- przeprowadzenie weryfikacji wcześniej wykonanego modelu hydrogeologicznego,
- ustalenie bilansów wód podziemnych modelowanego poziomu wodonośnego,
- rozpoznanie i ustalenie danych ilościowych systemu krążenia wód podziemnych dla przyjętego obecnego poboru wody z trzech studni szybowych w ilości 80 m³/h,

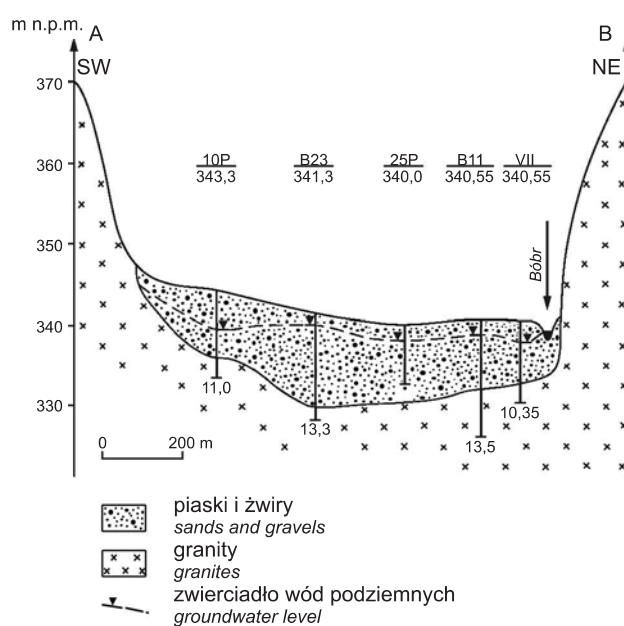


Fig. 2. Przekrój hydrogeologiczny w rejonie ujęcia wody Grabarów

Hydrogeological cross-section in the area of Grabarów water intake

- określenie zasobów eksploatacyjnych dla dziesięciu studni szybowych ujęcia,
- określenie obszaru zasilania studni szybowych,
- oszacowanie czasu dopływu wody do ujęcia od wyznaczonych granic obszaru zasilania.

Kalibracja modelu została przeprowadzona metodą kolejnych przybliżeń. W jej trakcie, na podstawie danych otrzymanych z modelu przyrodniczego, dokonano korekty parametrów modelu numerycznego. Do tarowania modelu wykorzystano informacje o położeniu zwierciadła wód podziemnych w modelowanym poziomie wodonośnym w lipcu

2006 r. W celu uzyskania jak najlepszego dopasowania modelu numerycznego do stanu rzeczywistego procesowi tarowania zostały poddane następujące parametry: współczynniki filtracji, przewodność osadów korytowych Bobru, geometria poziomów wodonośnych oraz wielkości odpływu bocznego. Największym zmianom uległy wartości tych parametrów, których wiarygodność na etapie konstrukcji modelu numerycznego była najmniejsza. Zmiany dokonywane były również w tych obszarach, w których istniał problem niepewności danych wejściowych.

BILANS WÓD PODZIEMNYCH W MODELOWANYM OBSZARZE

Na wytarowanym modelu numerycznym przeprowadzono obliczenia bilansowe przepływu wód podziemnych dla założonej eksploatacji studni szybowych I, II, III w wysokości 80 m³/h (1920 m³/d), czyli dla stanu obecnego. Zasilanie infiltracyjne wód podziemnych w całym modelowanym

obszarze oszacowano w wysokości 1048 m³/d (3,61 l/s km²), co daje wskaźnik infiltracji efektywnej 15,9%. Wartość modułu odpływu podziemnego, obliczona na podstawie uzyskanych w modelu wielkości dopływów do cieków symulowanych zadanym warunkiem brzegowym III rodzaju, wyno-

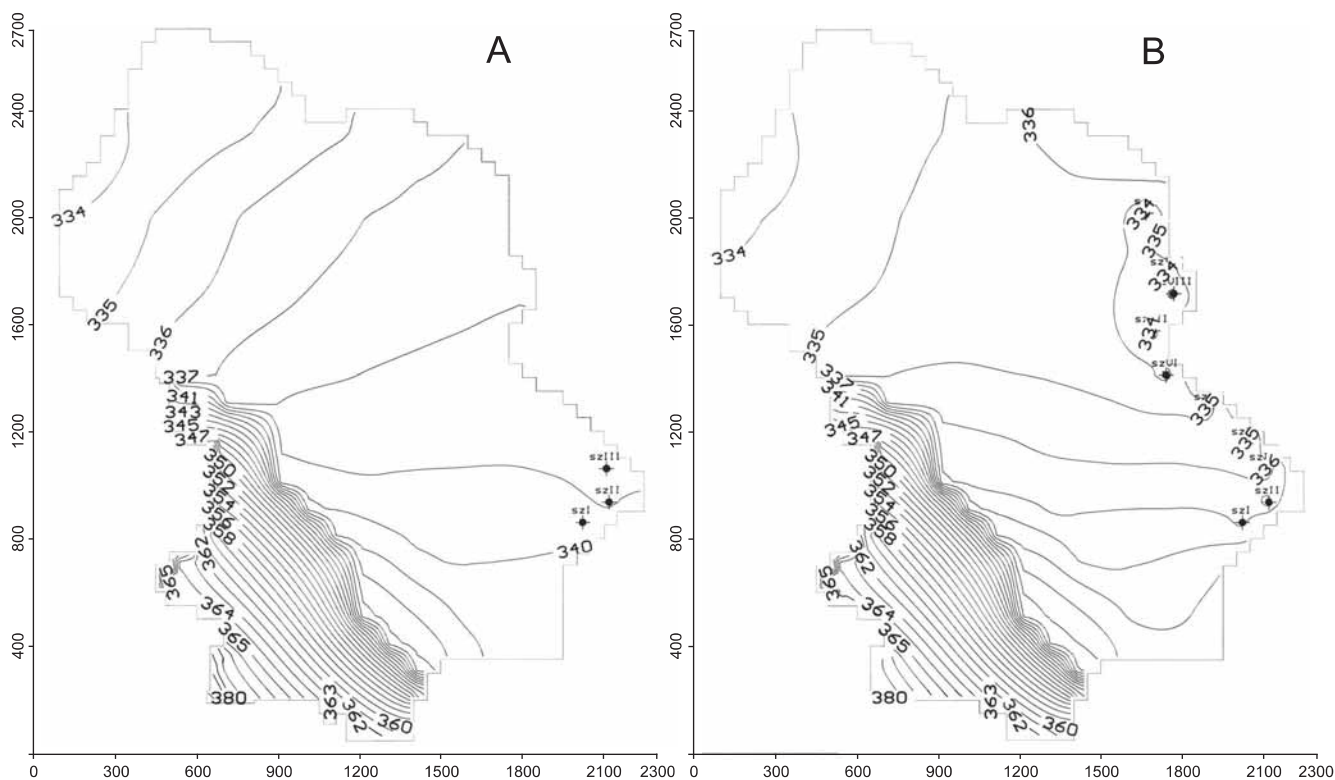


Fig. 3. Rozkład wysokości hydraulicznej

A – przy symulacji eksploatacji wody ze studni szybowych I, II, III łącznie w wysokości 80 m³/h, B – przy symulacji eksploatacji wody ze studni szybowych od I do X, łącznie w wysokości 610 m³/h

Head contour map

A – during exploitation of three shaft wells (No I, II, III), total amount 80 m³/h, B – during exploitation of shaft wells (No from I to X), total amount 610 m³/h

si 8,67 l/s km². Uwzględnione w modelu cieką mają charakter drenujący, jednakże w rejonie pracujących studni szybowych również zasilający. Całkowite zasilanie modelowanego kompleksu wodonośnego wynosi 4950 m³/d (17,1 l/s km²) i odbywa się na drodze infiltracji opadów atmosferycznych oraz wód powierzchniowych, a także w postaci dopływu bocznego spoza badanego obszaru (1073 m³/d) – figura 3. Wysoki moduł zasilania całkowitego wynika ze znaczącego, wymuszonego eksploatacją studni dopływu wód powierzchniowych Bobru do poziomu wodonośnego. Przy odrzuceniu zasilania infiltracyjnego z rzeki, jako składowej zasilania

całkowitego, zasilanie wód podziemnych modelowanego obszaru wyniesie 2121 m³/d (7,32 l/s km²). Jest to wartość porównywalna do podawanych dla tego rejonu przez innych autorów (Marszałek, 2007). Odpływ boczny z poziomu wodonośnego poza modelowany obszar zachodzi w części zachodniej w ilości 516 m³/d. Jest to naturalny odpływ w dolinie Bobru, zgodny z jego biegiem. Zasilanie studni szybowych I, II, III, w trakcie ich eksploatacji z łączną wydajnością 80 m³/h, w prawie 90% odbywa się wodami infiltrującymi z rzeki.

OCENA ZASOBÓW EKSPLOATACYJNYCH STUDNI SZYBOWYCH

Głównym celem obliczeń modelowych było określenie zasobów eksploatacyjnych dziesięciu studni szybowych ujęcia Grabarów w Jeleniej Górze. W poszczególnych etapach symulacji do eksploatacji były włączane kolejne studnie szybowe oraz zwiększana ich wydajność aż do obniżenia w nich zwierciadła wody odpowiadającego 0,4 miąższości poziomu wodonośnego w każdej z nich (Dąbrowski i in., 2004). Uzyskana wielkość zasobów eksploatacyjnych dla dziesięciu studni szybowych wynosi 610 m³/h (14 640 m³/d), a wydajności eksploatacyjne dla poszczególnych studni od 30 do 80 m³/h. Udział wód podziemnych w zasilaniu studni szybowych przy takim poziomie eksploatacji wynosi około 8%. Pozostała część wód zasilających studnie pochodzi z infiltracji wód Bobru.

Zwiększenie eksploatacji studni szybowych do 610 m³/h nie spowoduje zmiany wielkości zasilania infiltracyjnego oraz dopływu bocznego spoza modelowanego obszaru. W wyniku zwiększonej eksploatacji zmniejszy się wartość odpływu bocznego do około 350 m³/d. Wyraźnie (o około 1250 m³/d) zmniejszy się drenaż rzeki; zwiększy się natomiast zdecydowanie do 14 116 m³/d infiltracja wód z Bobru, wymuszona wytworzonymi lejami depresji. Jest to wartość równa około 5% średnich niskich przepływów w Bobrze. Prowadzenie eksploatacji studni szybowych z wydajnością 610 m³/h spowoduje dodatkowe obniżenie zwierciadła wód podziemnych, obserwowane w kierunku zachodnim maksymalnie do odległości 1,2 km. Wielkość obniżenia zwierciadła wody wyniesie od ponad 4 m w rejonie studni i będzie malała wraz ze wzrostem odległości od nich. W sąsiedztwie studni wytworzy się kilka lejów depresji, a w rejonie studzien VI–X jeden wspólny lej depresji, wydłużony w kierunku południkowym (fig. 4). Rozwój lejów depresji jest hamo-

wany sąsiedztwem Bobru i zasilaniem studni wodami powierzchniowymi.

Zwiększenie wydajności studni szybowych pociągnie za sobą wzrost udziału infiltrujących wód powierzchniowych w zasilaniu studni kosztem wód podziemnych o lepszej jakości.

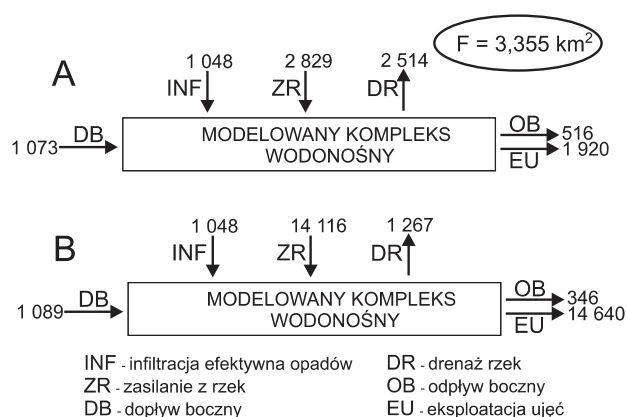


Fig. 4. Bilans przepływów wód podziemnych w rejonie obszaru zasobowego ujęcia wody Grabarów (wszystkie wartości w m³/d)

A – przy symulacji eksploatacji wody ze studni szybowych I, II, III łącznie w wysokości 80 m³/h, **B** – przy symulacji eksploatacji wody ze studni szybowych od I do X, łącznie w wysokości 610 m³/h

Water budget of groundwater flow in the Grabarów catchment area (values in m³/d)

A – during exploitation of three shaft wells (No I, II, III), total amount 80 m³/h, **B** – during exploitation of shaft wells (No from I to X), total amount 610 m³/h

WYZNACZENIE OBSZARU ZASILANIA STUDNI SZYBOWYCH

Obliczenia modelowe pozwoliły ocenić granice obszaru zasilania ujęcia wody Grabarów. Symulacje wykonano przy założonej eksploatacji studniami szybowymi w wysokości 610 m³/h. Stwierdzono, że maksymalny czas przepływu wód

podziemnych do studni szybowych od zewnętrznych granic wyznaczonego obszaru zasilania wynosi 6–10 lat. Minimalne czasy uzyskano dla przepływów od strony Bobru i wynoszą one poniżej 5 dni.

Określone granice obszaru zasilania bieżą następująco: granica północna oraz wschodnia – wzdłuż rzeki Bóbr (jest mało prawdopodobne, aby wody podziemne głębszego krążenia zasilają studnie szybowe o niewielkiej głębokości przepływając pod korytem Bobru); granica południowa – około 1,5 km na południe od studni I, w rejonie, gdzie wzgó-

rze granitowe występują w sąsiedztwie Bobru (100 m na południe od Zakładów Przemysłu Odzieżowego Confex w Łomnicy); granica zachodnia – w odległości do 700 m południkowo przecina lotnisko; granica południowa – po wododziale wyznaczonym na grzbietach wzniesień granitowych w sąsiedztwie Zamkowej Góry.

PODSUMOWANIE

Badania modelowe potwierdziły, że możliwe będzie znaczące zwiększenie wydajności ujęcia wody Grabarów w Jeleniej Górze poprzez uruchomienie nieeksploatowanych obecnie studni szybowych. Ich wydajność można maksymalnie zwiększyć o 12 500 m³/d. Główną składową zasilania studni szybowych są wody infiltrujące z rzeki Bóbr. Toteż zwiększenie ich wydajności będzie możliwe dzięki wymuszonej infiltracji wód Bobru. Przy maksymalnej eksploatacji studni szybowych na poziomie 14 640 m³/d udział infiltrujących wód powierzchniowych wyniesie 92%. Zwiększa-

nie wydajności studni szybowych spowoduje procentowy spadek udziału w ich zasilaniu wód podziemnych o lepszej jakości. Bez względu na poziom eksploatacji studni szybowych, ich zasilanie poprzez dopływ wód podziemnych będzie możliwe na poziomie 2000–2500 tys. m³/d.

Ze względu na decydującą rolę wód Bobru w kształtowaniu zasobów ujęcia wody Grabarów strefa ochrony ujęcia powinna obejmować nie tylko obszar zasilania, ale również ochroną pośrednią należałoby objąć całą zlewnię Bobru po przekrój w Jeleniej Górze.

LITERATURA

- BIZOŃ A., 1984 – Dokumentacja badań elektrooporowych – Jelenia Góra. Zakres prac: rozpoznanie hydrogeologiczne utworów Q. Arch. PG Proxima, Wrocław.
- DAŃROWSKI S., GÓRSKI J., KAPUŚCIŃSKI J., PRZYBYŁEK J., SZCZEPAŃSKI A., 2004 – Metodyka określania zasobów eksploatacyjnych ujęć zwykłych wód podziemnych, poradnik metodyczny. Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- GRZEŚKOWIAK W. i in., 1988 – Dokumentacja hydrogeologiczna ujęcia wód podziemnych i infiltracyjnych z utworów czwartorzędowych w kat. „B” w rejonie Jeleniej Góry. Arch. PG Proxima, Wrocław.
- JANICKI B., KRAWCZYK J., KRYZA J., NOWACKI F., 1994 – Bilans wodno-gospodarczy wraz ze sformułowaniem warunków korzystania z wód zlewni rzeki Bóbr do przekroju powyżej zbiornika Pilichowice w zakresie wód podziemnych na podstawie dotychczasowych wyników badań na tym obszarze. Arch. PG Proxima, Wrocław.
- MARZĄLEK H., 2007 – Kształtowanie zasobów wód podziemnych w rejonie Kotliny Jeleniogórskiej. *Acta Univ. Wratisl.*, 2993.
- MARZĄLEK H., WĄSIK M., 2002 – Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000 z objaśnieniami, ark. Wojcieszów. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MARZĄLEK H., WĄSIK M., 2007 – Dodatek do „Dokumentacji hydrogeologicznej zasobów wód podziemnych i infiltracyjnych z utworów czwartorzędowych w kat. „B” w rejonie Jeleniej Góry” (ujęcie wody „Grabarów”). Arch. Arcadis Ekokonrem, Wrocław.
- ZALESKA M. i in., 1999 – Dokumentacja hydrogeologiczna regionu sudeckiego – zlewnie górnych biegów Nysy Łużyckiej i Bobru wraz z oceną zasobów poziomów użytkowych. Arch. Arcadis Ekokonrem, Wrocław.

SUMMARY

The Grabarów infiltrating water intake in Jelenia Góra is located in alluvial deposits of the Bóbr river valley. Water is exploited by wells located along infiltrating ponds and by three dug wells (out of the total number of 10 wells). A modelling was used in order to estimate exploitable resources of water in case of exploitation of the 10 wells and to determine hydrodynamic conditions during the highest discharge. A numerical filtration model has been developed for the area of 3.355 km², comprising the recharge area of the intake. The Visual Modflow software was used for estimation of explo-

itable groundwater resources in a Quaternary sandy-gravel aquifer. The water balance of the aquifer within the modelling area limits, with assumed discharge of the three dug wells (No I, II, III) in the amount of 1920 m³/d, is as follows: precipitation recharge is 1048 m³/d, lateral inflow – 1073 m³/d, water infiltration from river – 2829 m³/d, lateral outflow – 516 m³/d, and drainage by the Bóbr river 2514 m³/d. The amount of resources calculated for the 10 dug wells is up to 610 m³/h (14 640 m³/d), and exploitable discharges range from 30 to 80 m³/h. The components of groundwater

balance of the aquifer during exploitation for such amounts are as follows: precipitation recharge – 1048 m³/d, lateral inflow 1089 m³/d, water infiltration from the Bóbr river – 14 116 m³/d, lateral outflow 346 m³/d, and drainage by the Bóbr river 1.267 m³/d. The wells are mainly recharged by surface water of the Bóbr river. The contribution of infiltrating water to the total resources during the exploitation of the three dug wells accounts 90%, whereas the drainage of

all the 10 wells results in the increase of infiltrating waters up to 92%. Thus, the increase in the discharge is followed by a higher contribution of infiltrating surface water recharging the intake, at the expense of good quality groundwater. The maximum time of water inflow from the Bóbr river valley to the dug wells is below 5 days, whereas the time of ground water inflow is 6–10 years.