

WYKORZYSTANIE BADAŃ MODELOWYCH DO OCENY MOŻLIWOŚCI POBORU WODY W WIDŁACH DUNAJCA I BIAŁEJ

THE USE OF GROUNDWATER MODELLING IN THE ASSESSMENT OF WATER ABSTRACTION IN THE AREA BETWEEN THE DUNAJEC AND BIAŁA RIVERS

ANDRZEJ HAŁADUS¹, JAROSŁAW KANIA¹, ANDRZEJ SZCZEPAŃSKI¹, ROBERT ZDECHLIK¹, GRZEGORZ WOJTAL²

Abstrakt. Miasto Tarnów zaopatrywane jest w wodę w większości z ujęć zlokalizowanych w pobliżu Dunajca. Ujmują one wody podziemne z poziomu czwartorzędowego oraz infiltrujące wody rzeczne. Ze względu na płytkie występowanie i niewielką miąższość oraz brak skutecznej naturalnej izolacji, poziom ten jest podatny na wnikanie zanieczyszczeń miejsko-przemysłowych. Stworzono jednowarstwowy model hydrogeologiczny obszaru widł Dunajca i Białej o powierzchni około 20 km², odwzorowujący warunki krążenia wód w utworach czwartorzędu. Na zweryfikowanym modelu hydrodynamicznym wykonano prognostyczne symulacje eksploatacji ujęć. Analiza tych rozwiązań, przy uwzględnieniu perspektywicznego zapotrzebowania na wodę, wskazuje na duże możliwości poboru wód w rozpatrywanym rejonie.

Słowa kluczowe: numeryczny model przepływu, ujęcia wód podziemnych.

Abstract. The drinking water for the Tarnów city is supplied mainly by the intakes located near the Dunajec River, which exploit groundwater from the Quaternary aquifer as well as the infiltrating river water. The Quaternary aquifer is vulnerable to pollution from the surface due to the shallow groundwater level and the lack of effective natural isolation. The main sources of groundwater pollution are industrial and urban areas. A one-layer flow model was constructed for present groundwater flow conditions in the area between Dunajec and Biała rivers using the Processing Modflow program. The modeled area covers 20 km². The calibrated flow model was next used to simulate the prognosis of groundwater extraction. Analysis of these solutions indicates a high possibility of water abstraction in the area, taking into account the prospective demand for water.

Key words: numerical flow model, groundwater intakes.

WSTĘP

Rozwój cywilizacyjny w znacznym stopniu uzależniony jest od dostępu do czystej wody w odpowiedniej ilości. Z racji większej odporności na zanieczyszczenia, dominującą rolę powinno odgrywać zaopatrzenie w wody podziemne. Ze względu na budowę geologiczną i warunki hydrogeologicz-

ne, w Polsce najczęściej zasobność i jakość wód podziemnych jest uzależniona od wód powierzchniowych. Ponadto występują liczne wzajemne zależności wód podziemnych z terenami zurbanizowanymi, skutkujące zagrożeniami i często przekształceniami ilościowymi i jakościowymi za-

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: jkania@agh.edu.pl

² Tarnowskie Wodociągi Sp. z o.o., ul. Narutowicza 37, 33-100 Tarnów

sobów wód podziemnych. Z tego względu zarządzanie zasobami wodnymi na terenach zurbanizowanych wymaga rozpatrzenia szeregu dodatkowych procesów i czynników.

W artykule przedstawiono powiązania ilościowe zasobów ujęć wód podziemnych w widłach Dunajca i Białej ze stanami wód powierzchniowych. Scharakteryzowano również ilościowe oddziaływanie antropopresji na ujmowane wody. Przygo-

towano numeryczny model hydrogeologiczny sporządzony na podstawie rzeczywistych wielkości poboru i stanów zwierciadła oraz rozpoznania poziomu zagrożeń antropogenicznych. W ramach badań prognostycznych odtworzono stan naturalny oraz dokonano symulacji funkcjonowania ujęć z wydajnościami równymi zatwierdzonym zasobom.

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Obszar badań objęty modelem hydrogeologicznym, według regionalnego podziału zwykłych wód podziemnych Polski (Paczyński, 2007) należy do regionu przedgórskiego, subregionu przedkarpackiego (VI₁). Na podstawie regionalizacji słodkich wód podziemnych Polski (Kleczkowski, 1988; Dowgiałło i in., red., 2002) badany obszar zaklasyfikowano do pasma przedkarpackich zbiorników czwartorzędowych (Ppk). Nie wydzielono tu żadnego z głównych zbiorników wód podziemnych (Kleczkowski red., 1990).

Na badanym obszarze występuje jeden użytkowy poziom wodonośny, związany z utworami czwartorzędowymi wypełniającymi doliny Dunajca i Białej (Chowaniec i in., 1997, 1998). Wody podziemne występują w osadach żwirowo-piaszczystych z dużą domieszką otoczków (ośrodek porowy), leżących ciągłą warstwą na nieprzepuszczalnym podłożu ilastym – iłach miocenijskich (fig. 1). Poza korytami rzecznyymi górne partie żwirów i piasków bywają niekiedy w znacznym stopniu zaglinione. Miąższość utworów najczęściej waha się w przedziale 5–10 m. Utwory wodonośne charakteryzują się na ogół dobrą przepuszczalnością przy dużej heterogeniczności. Współczynnik filtracji waha się najczęściej od 10 do ponad 100 m/d, lokalnie dochodzi do 400 m/d. Wydajności studni mieszczą się na ogół w granicach od 10 do 100 m³/h.

Zasilanie utworów wodonośnych piętra czwartorzędowego odbywa się głównie na drodze bezpośredniej infiltracji

opadów atmosferycznych, a w okresie wysokich stanów wody w Dunajcu bądź w warunkach zakłóconych eksploatacją jest wspomagane infiltracją z rzeki na niektórych jej odcinkach. W warunkach naturalnych doliny Dunajca i Białej stanowią podstawę drenażu wód podziemnych. Rolę tę przejmują czynne ujęcia wód podziemnych (fig. 1). Możliwości retencji wód poziomu czwartorzędowego są ograniczone, uzależnione w znacznym stopniu również od poziomu wody w rzekach.

Położenie zwierciadła wody poziomu czwartorzędowego kształtowane jest przez morfologię terenu oraz warunki hydrograficzne, z bardzo wyraźnym oddziaływaniem Dunajca i Białej. Zwierciadło wody o charakterze swobodnym występuje na ogół na głębokości do 6 m, a jedynie na obszarze wysoczyznowym, na południu – ponad 35 m. Rozkład hydroizohips jest typowy dla obszaru międzyrzecza. Rzędne zwierciadła zawierają się w przedziale od 184 do 230 m n.p.m, a przepływ wód odbywa się z południa na zachód i północny zachód w kierunku Dunajca oraz na wschód i północny wschód w kierunku Białej (fig. 2).

Wody poziomu czwartorzędowego charakteryzuje duże zróżnicowanie składu chemicznego oraz własności fizykochemicznych, spowodowane dużą podatnością warstwy wodonośnej na przenikanie zanieczyszczeń z powierzchni. Występują na tym obszarze zarówno wody słodkie, jak i słone, o zawartości substancji rozpuszczonych w granicach od około 100 do ponad 1000 mg/l. W składzie wód przeważają

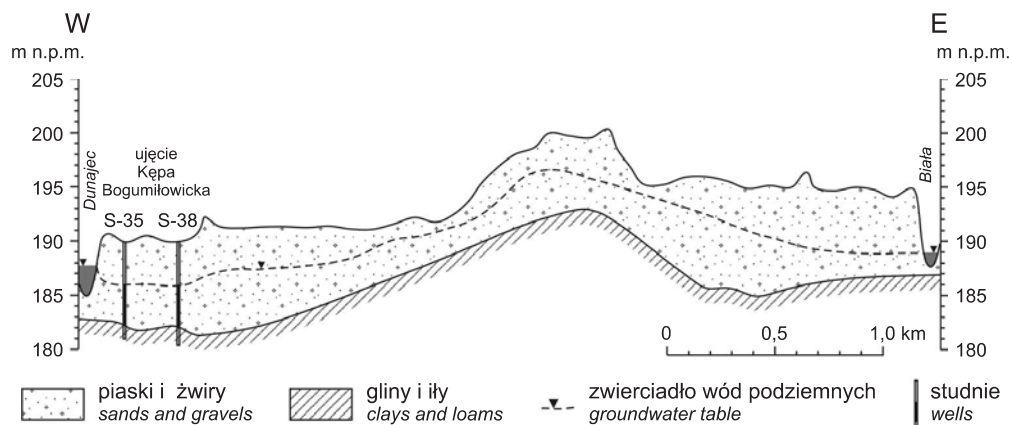


Fig. 1. Schematyczny przekrój hydrogeologiczny

Schematic hydrogeological cross-section

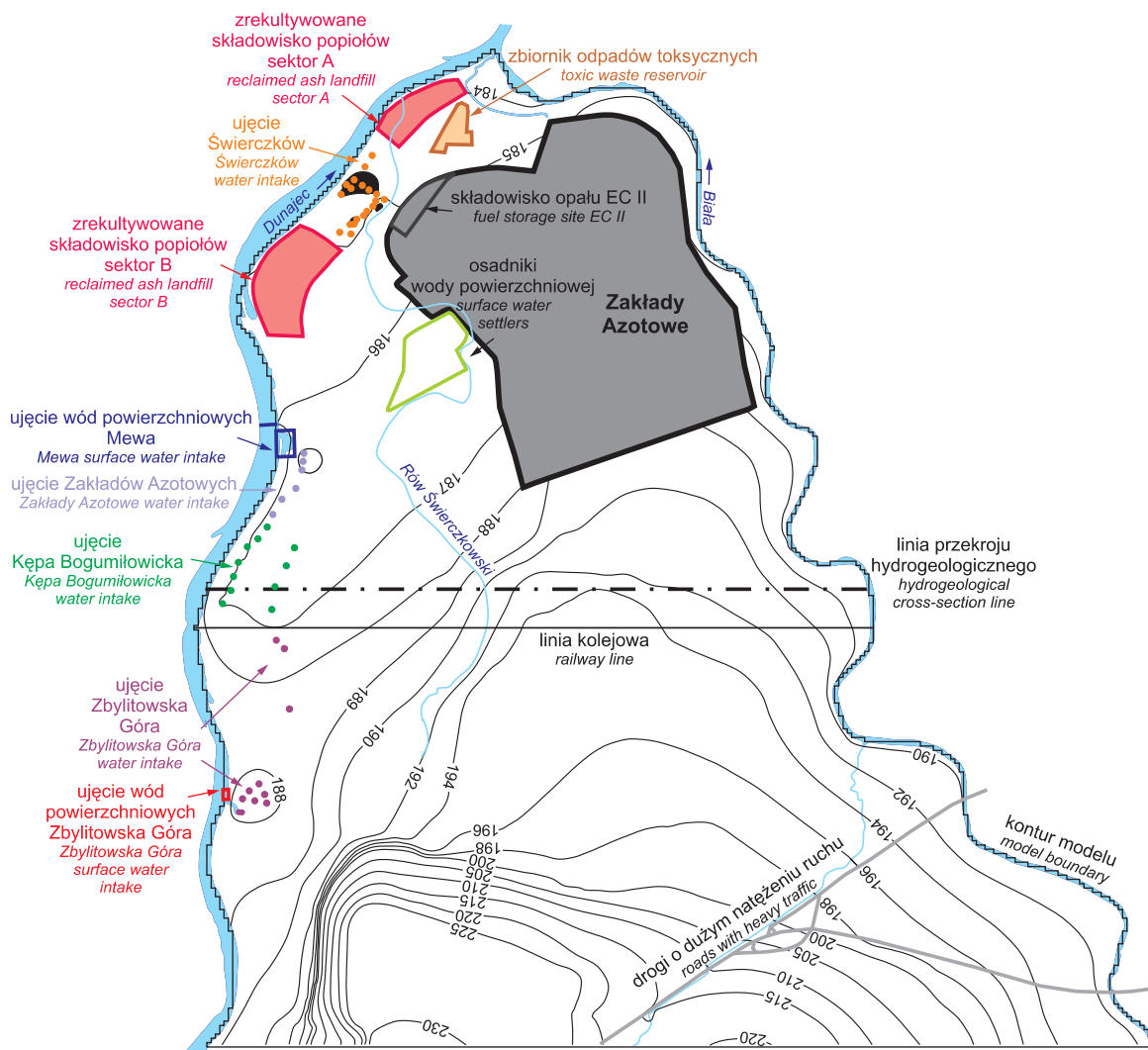


Fig. 2. Prognozowany układ hydroizohips (wariant 2) wraz z elementami antropopresji

Prognosed hydraulic head distribution (variant 2) with the anthropogenic elements

jony wodorowęglanowe i wapniowe ze zwiększonym niekiedy udziałem jonów siarczanowych i magnezowych. Lokalnie stwierdzono podwyższone stężenia jonów amonowych, chlorków i siarczanów, będące efektem antropopresji. Podwyższone stężenia jonów żelaza mają najczęściej pochodzenie naturalne.

CHARAKTERYSTYKA UJĘĆ WODY

Na obszarze ograniczonym widłami Dunajca i Białej, na znaczną skalę prowadzony jest pobór wód do celów komunalnych i przemysłowych. Wykorzystywane są zarówno wody powierzchniowe, jak i podziemne, których zasoby są lokalnie wzbogacane przezrzutem do rowów infiltracyjnych wód powierzchniowych. Wydajności eksploatowanych studni, ujmujących piaszczysto-żwirowy poziom wodonośny czwartorzędu, są na ogół wysokie, choć zauważalne jest ich znaczne zróżnicowanie. Wszystkie ujęcia zlokalizowane są w pobliżu Dunajca (fig. 2), a skut-

kiem ich eksploatacji jest wymuszenie infiltracji wód rzecznych. Zaopatrujące w wodę Tarnów ujęcia wód podziemnych: Kępa Bogumiłowska, Świerczków i nieczynne – Zbylitowska Góra oraz ujęcie wód powierzchniowych Dunajca w Zbylitowskiej Górze są własnością Tarnowskich Wodociągów Sp. z o.o. Do Zakładów Azotowych należy ujęcie wód podziemnych w Tarnowie-Mościach oraz ujęcie wód powierzchniowych w zatoce czerpnej Mewa na Dunajcu.

Ujęcie Kępa Bogumiłowska, położone przy Dunajcu na północ od linii kolejowej (fig. 2), ma charakter infiltracyjny (zasilenie warstwy wodonośnej od strony Dunajca). Eksploatacja wód podziemnych prowadzona jest lewarowo przy użyciu 11 studni. Zasilanie poziomu odbywa się na drodze infiltracji opadów atmosferycznych i wód Dunajca.

W czerwcu 2009 r. zatwierdzono nowe zasoby ujęcia, wynoszące sumarycznie 504,3 m³/h przy depresji maksymalnej 2,30 m. W 2009 r. wydajności pojedynczych studni mieściły się w granicach 8,5–74 m³/h, natomiast średni pobór wód całego ujęcia wynosił około 8000 m³/dobę (333 m³/h).

Ujęcie Świerczków jest zlokalizowane na prawym brzegu Dunajca, w północnej części rozpatrywanego rejonu, w pobliżu ujścia Białej (fig. 2). Pierwsze studnie ujęcia oddano do eksploatacji w 1910 r. Z 19 studni wykorzystuje się obecnie od 11 do 14, z zastosowaniem systemu lewarowego. Zasilanie poziomu wodonośnego następuje dzięki infiltracji wód opadowych i wód Dunajca oraz wód powierzchniowych doprowadzanych do położonych w obrębie ujęcia rowów nawadniających.

Zatwierdzone zasoby eksploatacyjne ujęcia w 2003 r. wynosiły 557,5 m³/h przy maksymalnej depresji 2,54 m. Wydajności pojedynczych studni wahały się w granicach 1,0–57,7 m³/h. Woda z ujęcia pobierana jest do celów pitnych i na potrzeby gospodarcze Tarnowa. Średni roczny pobór wody wynosi około 6470 m³/d (270 m³/h) przy maksymalnym zapotrzebowaniu nie przekraczającym 6800 m³/d. Wielkość poboru wody z ujęcia w latach 2005–2009 zmieniała się w przedziale 6050–6780 m³/d (w 2009 r. średnio 6780 m³/d). W latach 2000–2009 do rowów infiltracyjnych przetrucano średnio 4140 m³/d wód z Dunajca.

Na północ od ujęcia Kępa Bogumiłowicka znajduje się ujęcie wód podziemnych Zakładów Azotowych w Tarnowie-Mościcach. W skład ujęcia wchodzi kilka studni wierconych i trzy promieniste studnie Ranneya, położone na obszarze międzywała na prawym tarasie Dunajca, w sąsiedztwie ujęcia wód powierzchniowych Mewa i progę piętrzącego. Zasoby ujęcia wspomagane są infiltracją brzegową, stąd też stan Dunajca znacząco wpływa na jego możliwości eksploatacyjne. W 2009 r. eksploatowano wyłącznie jedną ze studni Ranneya (R-VI) ze średnim wydatkiem około 1700 m³/d. Wody są wykorzystywane głównie w celach bytowo-gospodarczych i chłodniczych zakładu. Studnie wiercone są eksploatowane systemem lewarowym i pełnią funkcję studni awaryjnych. Pozostałe studnie zostały zlikwidowane lub są przeznaczone do likwidacji. Łączne zasoby eksploatacyjne ujęcia wynoszą 411,3 m³/h przy maksymalnej depresji 2,3 m.

Na południe od linii kolejowej jest zlokalizowane nowe ujęcie Tarnowskich Wodociągów – Zbylitowska Góra. Wykonano tu łącznie dziewięć nowych studni oraz studnię drenażową. W pompowaniach pomiarowych osiągnano wydajności 10,59–57,14 m³/h przy depresjach 1,14–3,29 m. Od studni drenażowej odchodzą dwa drenaże zabudowane na głębokości około 6 m, o długości blisko 50 m każdy. Obecnie, z przyczyn proceduralnych, nie zatwierdzono zasobów eksploatacyjnych studni ujęcia Zbylitowska Góra i nie są one jeszcze eksploatowane.

W rozpatrywanym rejonie funkcjonują również dwa ujęcia wód powierzchniowych, dostarczające wody na potrzeby Tarnowskich Wodociągów i Zakładów Azotowych. Ujęcie Mewa jest zlokalizowane na prawym brzegu Dunajca. Pobór wody odbywa się z zatoki czerpnej Mewa, w której odpowiedni poziom jest utrzymywany przy pomocy stopnia piętrzącego przegradzającego Dunajec, zlokalizowanego 60 m poniżej wlotu do zatoki. Zatwierdzone zasoby ujęcia wynoszą 79 200 m³/d (3300 m³/h). Ujmowana woda wykorzystywana jest do celów spożywczych, technologicznych i przeciwpożarowych, a także do napełniania rowów infiltracyjnych ujęcia Świerczków. W latach 2000–2009 średni roczny pobór wody wynosił 41 161 m³/d (1715 m³/h).

Ujęcie powierzchniowe w Zbylitowskiej Górze, zlokalizowane około 200 m od budowanego ujęcia wód podziemnych, należy do Wodociągów Tarnowskich. Woda z ujęcia wykorzystywana jest w celach zaopatrzeniowych w Tarnowie i gminach ościennych. Dopuszczalny pobór wody z ujęcia, zgodny z pozwoleniem wodno-prawnym, wynosi 51 840 m³/d (2160 m³/h).

ANTROPOPRESJA NA OBSZARZE ZASILANIA UJĘĆ

Zagrożenie jakości wód podziemnych poziomu czwartorzędowego na badanym obszarze wiąże się głównie z płytkim występowaniem zwierciadła wody oraz brakiem ciągłej pokrywy izolującej, chroniącej wody przed zanieczyszczeniami z powierzchni. Ponadto skalę zagrożenia determinuje rodzaj i charakter ognisk zanieczyszczeń.

Warunki sozologiczne obszaru zasilania ujęć kształtowane są głównie przez Zakłady Azotowe, działające od 80 lat. Ilość wprowadzonych w tym czasie do środowiska związków jest trudna do oszacowania. Zanieczyszczenia z obszaru Zakładów mogły przedostawać się do wód gruntowych zarówno poprzez nieszczelną kanalizację ściekową, jak i nieodpowiednią izolację składowisk odpadów, niewłaściwy transport czy emisję do atmosfery. Na badanym terenie istnieje kilka składowisk w pobliżu ujęć często niedostatecznie kontrolowanych i zabezpieczonych. Wśród nich można wyróżnić: zrekultywowane składowiska popiołów, zbiornik substancji toksycznych oraz składowisko opału (węgla kamiennego) dla elektrociepłowni (fig. 2). Do pozostałych ognisk zanieczyszczeń można zaliczyć: Rów Świerczkowski, osadniki wody przemysłowej, stacje benzynowe oraz lokalne sieci dróg. Poważnym zagrożeniem dla wód podziemnych są tereny zabudowy gospodarczej oraz pola uprawne.

BADANIA MODELOWE

OGÓLNE INFORMACJE O MODELU

Jednowarstwowy model warunków hydrogeologicznych czwartorzędowego poziomu wodonośnego, położony w widłach rzek Dunajca i jego prawego dopływu – Białej,

został opracowany przy wykorzystaniu programu komputerowego Processing Modflow (Chiang, Kinzelbach, 2001; Kulma, Zdechlik, 2009).

Bezpośrednimi badaniami modelowymi objęto obszar o powierzchni 20,03 km² (fig. 2), podzielony na 32 050 blo-

ków obliczeniowych. Siatkę podziału obszaru filtracji tworzyły bloki kwadratowe o kroku $\Delta x = \Delta y = 25$ m.

Granice obszaru badań modelowych od strony zachodniej i wschodniej stanowiły rzeki, tj. odpowiednio Dunajec i Biała. Południowy kontur modelu miał charakter sztuczny i był zrealizowany poprzez tzw. odsuniętą granicę.

Wewnętrznymi warunkami brzegowymi modelowanego obszaru był ciek powierzchniowy (bez nazwy), będący lewym dopływem Białej, Rów Świerczkowski, zatoka czerpna Mewa, stanowiąca miejsce poboru wody ujęcia powierzchniowego należącego do Zakładów Azotowych w Tarnowie, ujęcia wód podziemnych (Świerczków wraz z rowami infiltracyjnymi, Zakładów Azotowych, Kępa Bogumiłowicka i nowo wybudowane nieczynne ujęcie Zbylitowska Góra).

Weryfikacja modelu hydrogeologicznego (wariant 0) została przeprowadzona w odniesieniu do około 60 punktów reperowych, obejmujących otwory obserwacyjne i studnie kopane. Odtworzony na modelu układ zwierciadła wód podziemnych piętra czwartorzędowego, według stanu na koniec września 2009 r., wykazuje dużą zbieżność z pomiarami wykonanymi w punktach reperowych. Różnice pomiędzy rzędnymi zwierciadła wody pomierzonymi w otworach i obliczonymi na modelu wahały się od $-0,7$ do $0,9$ m (błąd bezwzględny $0,3$ m), a odchylenie standardowe wyniosło $0,25$ m.

OBLICZENIA PROGNOSTYCZNE

Skonstruowany model hydrogeologiczny objął fragment obszaru położonego w widłach Dunajca i Białej i został wykorzystany do obliczeń symulacyjnych. Etap weryfikacji modelu (wariant 0) polegał na rekonstrukcji aktualnego (koniec września 2009 r.) położenia zwierciadła w warunkach poboru wód podziemnych przez istniejące ujęcia, tj. Świerczków, Kępa Bogumiłowicka i ujęcie Zakładów Azotowych. W obliczeniach uwzględniono ilości wód podziemnych pobieranych z Dunajca i podawanych do rowów infiltracyjnych położonych w rejonie ujęcia Świerczków, a stanowiących znaczące źródło wzbogacania zasobów eksploatacyjnych tego ujęcia.

Prognozy warunków filtracji dokonano na modelu zwerifikowanym przy średnich niskich stanach wody w ciekach powierzchniowych.

W wariant 1 odtworzono warunki naturalne, a więc przy braku poboru wody z ujęć. Na tym etapie obliczeń symulowano pracę istniejącego w rejonie ujęcia powierzchniowego Mewa prognozy spiętrzającego wody na Dunajcu.

Wariant prognostyczny 2 dotyczył sytuacji, w której pobory z ujęć wód podziemnych Zakładów Azotowych i Kępa Bogumiłowicka są równe zatwierdzonym zasobom eksploatacyjnym. Tylko w ujęciu Świerczków odwzorowano pobory wody stanowiące około $63,8\%$ wielkości zasobów, symulując pracę studni czynnych. W nowo wybudowanym ujęciu położonym w Zbylitowskiej Górze wielkość poboru wody dostosowano do możliwości zasilania warstwy wodonośnej.

Uzyskane rezultaty obliczeń symulacyjnych pozwalają m.in. na sporządzenie bilansu wód podziemnych w obrębie

obszaru objętego badaniami i określenie stopnia obniżenia zwierciadła wód podziemnych. Wyniki badań modelowych mogą być wykorzystane m.in. do określenia zasobów dyspozycyjnych i eksploatacyjnych ujęć, a więc stanowią wiarygodną podstawę do racjonalizacji gospodarki wodnej na tym obszarze.

Całkowita ilość wód podziemnych uwzględniona w bilansie poziomu czwartorzędowego na obszarze objętym modelem hydrogeologicznym (tab. 1) wynosi $15\,370$ m³/d w warunkach naturalnych (wariant 1) i zwiększa się do $44\,700$ m³/d w wariant 2.

Podstawowym czynnikiem kształtującym zasoby wodne w piętrze czwartorzędowym po stronie przychodów jest zasilanie z Dunajca z natężeniem od $12\,850$ m³/d (wariant 0) do $27\,720$ m³/d (wariant 2). Stanowi to odpowiednio $43,2\%$ i $62,0\%$ sumy bilansowej. Uwzględniając zasilanie wodami z Dunajca rowów infiltracyjnych ujęcia Świerczków, udział wód powierzchniowych w zasilaniu poziomu czwartorzędowego wzrasta nawet do $72,3\%$. W warunkach naturalnych (wariant 1) wielkość tego czynnika odgrywa mniejszą rolę i wynosi 3070 m³/d (20% sumy bilansowej). Występuje ono w rejonie prognozy spiętrzającego wody Dunajca i ma charakter lokalny.

Stabilnym i znaczącym elementem bilansowym występującym po stronie przychodów są opady atmosferyczne zasilające omawiany poziom wodonośny w ilości 9000 m³/d (tab. 1). Dominuje on w warunkach naturalnych, stanowiąc $58,6\%$ sumy bilansowej (wariant 1), natomiast w trakcie poboru wód podziemnych (wariant 0 i 2) jego udział zmniejsza się odpowiednio do $30,2\%$ i $20,1\%$.

Ponadto obszar badań zasilany jest od strony południowej z natężeniem 2950 m³/d (wariant 0, 1 i 2) oraz w warunkach eksploatacji ujęcia Świerczków z rowów infiltracyjnych w ilości ponad 4600 m³/d (wariant 0 i 2).

Po stronie rozchodów bilansowych dominował drenaż poziomu wodonośnego przez ujęcia wód podziemnych. Na etapie weryfikacji modelu (wariant 0) wynosił $16\,480$ m³/d ($55,4\%$ sumy bilansowej) i wzrósł do $33\,980$ m³/d ($76,0\%$). Poza odbiorem wody przez studnie eksploatacyjne ważną rolę spełniają rzeki stanowiące zewnętrzne granice modelowanego obszaru. W odtworzonych warunkach pierwotnych Dunajec i Biała drenowały 9120 m³/d i 4560 m³/d, tj. odpowiednio $59,4\%$ i $29,6\%$ sumy bilansowej. W czasie pracy ujęć wielkości drenażu wód poziomu czwartorzędowego zmieniają się w przypadku Dunajca i wynoszą 7100 m³/d (wariant 0) oraz 4610 m³/d (wariant 2). Stanowią one $23,8\%$ i $10,3\%$ sumy bilansowej. Ilości wód drenowanych przez rzekę Białą oscylują wokół wartości 4500 m³/d (warianty 0, 1 i 2).

Ponadto z obszaru modelowanego wody podziemne odpływają do lewego dopływu Białej w ilości 1410 m³/d.

W warunkach naturalnych zwierciadło wód podziemnych poziomu czwartorzędowego kształtuje się na wysokości od 230 m n.p.m. w części południowej obszaru do 184 m n.p.m. w części północnej. Na obszarze międzyrzecza uformował się wyraźny wododział wód podziemnych o kierunku S–N.

Tabela 1

**Bilans przepływu wód podziemnych w czwartorzędowym poziomie wodonośnym w widłach Dunajca i Białej
na podstawie badań modelowych**

Groundwater balance for the Quaternary aquifer in the area between Dunajec and Biała rivers based on groundwater flow model

Składnik bilansu wodnego	Natężenie przepływu strumienia filtracyjnego [m ³ /d]					
	wariant 0 (etap weryfikacji modelu)		wariant 1 (stan naturalny)		wariant 2 (prognoza)	
	dopływ	odpływ	dopływ	odpływ	dopływ	odpływ
Efektywna infiltracja opadów atmosferycznych	9000	0	9000	0	9000	0
Dopływ/odpływ z zewnętrznych granic modelowanego obszaru, w tym:	15809	11680	6030	13728	30675	9141
z Dunajca	12853	7096	3074	9123	27719	4608
z Białej	2	4534	2	4555	2	4483
spoza modelowanego obszaru	2954	50	2954	50	2954	50
Zasilanie/drenaż wewnątrz modelowanego obszaru, w tym:	4960	18089	336	1638	5019	35553
lewego dopływu Białej (ciek bez nazwy)	213	1411	213	1411	214	1410
rowu Świerczków	135	195	123	227	152	159
rowów infiltracyjnych ujęcia Świerczków	4612	0	0	0	4653	0
pobór z ujęć wód podziemnych	0	16483	0	0	0	33984
Suma	29769	29769	15366	15366	44694	44694

W piętrze czwartorzędowym eksploatacja ujęć wód podziemnych spowodowała zmiany w położeniu ich zwierciadła na obszarze wzdłuż rzeki Dunajec. W rejonie ujęć Zakładów Azotowych i Kępa Bogumiłowicka obniżenia zwierciadła wody wynoszą od 0,8 do 1,3 m, natomiast w okolicy ujęcia Świerczków nie przekraczają 0,8 m (wariant 0). Lokalnie w tym rejonie tworzą się stożki impresji dochodzące do

1,4 m, spowodowane działaniem rowów infiltracyjnych. Wzrost poboru wody na ujęciach (wariant 2) powoduje zwiększenie obniżenia zwierciadła wody lokalnie nawet do 3,0 m (studnia Ranneya na ujęciu Zakładów Azotowych). Na ogół obniżenia te mieszczą się w przedziale od 0,8 do 2,0 m.

PODSUMOWANIE

W widłach rzek Dunajec i Biała w rejonie Tarnowa odbywa się intensywna eksploatacja wód podziemnych. Na tym stosunkowo niewielkim obszarze istnieją cztery ujęcia wód podziemnych, w tym trzy czynne, oraz dwa ujęcia wód powierzchniowych. Równocześnie występuje wiele ognisk zanieczyszczeń wód podziemnych.

Wyniki badań modelowych wskazują, że możliwy jest większy pobór wód podziemnych, nawet do wielkości zasobowych. Około 88–90% wód odbieranych ujęciami pochodzi z bezpośredniej infiltracji z rzeki Dunajec lub pośrednio

z rowów infiltracyjnych. Ograniczenia w poborze wody powinny dotyczyć ujęcia Świerczków z powodu pojawiających się okresowo zanieczyszczeń, co powoduje wyłączenie z eksploatacji niektórych studni.

Zagadnienia dotyczące oceny jakości wód, w związku z antropopresją, są przedmiotem dalszych badań.

Praca została zrealizowana dzięki finansowaniu z projektu badawczego MNiSW nr NN525 410535.

LITERATURA

- CHIANG W.H., KINZELBACH W., 2001 — 3D-groundwater modeling with PMWIN: A simulation system for modelling groundwater flow and pollution. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York.
- CHOWANIEC J., WITEK K., LASKOWICZ I., 1997 — Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, ark. Tarnów (977) wraz z objaśnieniami. Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa. [dokument elektroniczny]
- CHOWANIEC J., WITEK K., FREIWALD P., 1998 — Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, ark. Wojnicz (1000) wraz z objaśnieniami. Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa. [dokument elektroniczny]
- DOWGIAŁŁO J., KLECZKOWSKI A.S., MACIOSZCZYK T., RÓŻKOWSKI A. (red.), 2002 — Słownik hydrogeologiczny. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KLECZKOWSKI A.S., 1988 — Regionalizacja słodkich wód podziemnych Polski w zmodyfikowanym ujęciu. *W: Aktualne Problemy Hydrogeologii*, t. 3. Wyd. Inst. Morskiego, Gdańsk.
- KLECZKOWSKI A.S. (red.), 1990 — Mapa obszarów głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony; skala 1:500 000. AGH, Kraków.
- KULMA R., ZDECHLIK R., 2009 — Modelowanie procesów filtracji. Uczel. Wyd. Nauk.-Dydakt. AGH, Kraków.
- PACZYŃSKI B., 2007 — Podstawy regionalizacji hydrogeologicznej. *W: Hydrogeologia regionalna Polski. 1. Wody słodkie.* (red. B. Paczyński, A. Sadurski). Państw. Inst. Geol., Warszawa.

SUMMARY

The intensive exploitation of groundwater resources is taking place in the confluence of the Dunajec and Biała rivers near Tarnów. In this relatively small area, there are four groundwater intakes (including three active) and two surface water intakes. Furthermore, there are many sources of groundwater contamination. A one-layer flow model was constructed for present groundwater flow conditions in the

area between Dunajec and Biała rivers using the Processing Modflow program. The modeled area covers 20 km². The results of groundwater modelling indicate the possibility of higher groundwater abstraction up to disposable groundwater resources. Approximately 88–90% of the exploited water comes from direct infiltration from the Dunajec River or indirectly from infiltration ditches.

