

PROGNOZOWANIE WARUNKÓW EKSPLOATACJI UJĘĆ ZAOPATRUJĄCYCH W WODĘ AGLOMERACJĘ TARNOWSKĄ

PREDICTION OF EXPLOITATION OF GROUNDWATER INTAKES SUPPLYING WATER TO THE TARNÓW AGGLOMERATION

ANDRZEJ HAŁADUS¹, JAROSŁAW KANIA¹, ANDRZEJ SZCZEPAŃSKI¹, ROBERT ZDECHLIK¹, GRZEGORZ WOJTAŁ²

Abstrakt. W widłach rzek Dunajec i Biała Tarnowska są położone ujęcia wód podziemnych i powierzchniowych zaopatrujących w wodę aglomerację tarnowską. Eksploatacja wód podziemnych z czwartorzędowego piętra wodonośnego spowodowała zmiany stosunków wodnych na prawym brzegu Dunajca. Obecne warunki hydrodynamiczne odwzorowano na zweryfikowanym jednowarstwowym modelu numerycznym, wykonanym przy wykorzystaniu programu Processing Modflow. Rozwiązania prognostyczne wskazują na duże możliwości poboru wód w omawianym obszarze, przy czym ich głównym źródłem są wody infiltrujące z Dunajca do ujęć.

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. Groundwater exploitation from the Quaternary aquifer caused changes in water relations on the right bank of the Dunajec River. A single-layer model was constructed to produce the present hydrodynamic conditions as well as prognosis for possible water extraction.

Key words: numerical flow model, groundwater intakes.

WSTĘP

W aglomeracji tarnowskiej zaopatrzenie w wodę do celów komunalnych jest realizowane przede wszystkim z ujęć wód podziemnych. Korzystną cechą takiego rozwiązania jest większa odporność wód podziemnych na zanieczyszczenia. Uwarunkowania geologiczne i hydrogeologiczne (nieciągłe występowanie izolujących utworów nadkładu) jednak powodują, że odporność wód podziemnych na zanieczyszczenia z powierzchni jest mocno ograniczona. Na obszarach zasilania ujęć warunki zasilania i przepływu wód podziemnych, a szczególnie stan chemiczny wód, jest kształtowany głównie przez wieloletnią działalność Zakładów Azotowych. Ponadto sytuacja jest komplikowana niezbędnym wspoma-

aniem zasilania warstwy wodonośnej przezrzutami wód powierzchniowych. W efekcie tego występują liczne relacje środowiska wodno-gruntowego z terenami zurbanizowanymi, skutkujące pojawiającymi się zagrożeniami stanu chemicznego wód podziemnych. Z tych względów prognozowanie warunków eksploatacji ujęć zaopatrujących w wodę aglomerację tarnowską musi uwzględniać szereg dodatkowych aspektów, najczęściej nie rozpatrywanych w typowych uwarunkowaniach środowiskowych.

W artykule przedstawiono hydrogeologiczne uwarunkowania funkcjonowania ujęć wód podziemnych zaopatrujących aglomerację tarnowską. Wykorzystując numeryczny

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: aha@agh.edu.pl, jkania@agh.edu.pl, aszczep@agh.edu.pl, zdechlik@agh.edu.pl

² Tarnowskie Wodociągi Sp. z o.o., ul. Narutowicza 37, 33-100 Tarnów; e-mail: wojtal@tw.tarnow.pl

model warunków hydrogeologicznych, skonstruowany w programie Processing Modflow i wykalibrowany z wykorzysta-

niem informacji o rzeczywistych wielkościach poborów i stanów zwierciadła, przeprowadzono wariantowe symulacje prognostyczne. Ich wyniki wskazują na duże możliwości poboru wód w omawianym obszarze, a głównym ich źródłem są infiltrujące wody z Dunajca.

SYNTETYCZNA CHARAKTERYSTYKA WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH

Rejon Tarnowa jest położony w obrębie zapadliska przedkarpacciego. Prekambrzyjsko-paleozoiczne-mezozoiczne utwory platformowe są przykryte osadami neogeńskimi, a te z kolei są pokryte glinami i piaskami plejstocenu i holocenu. Utwory miocenu, o miąższości nawet do 1200 m, tworzą serie ilasto-mułwcowo-piaszczyste warstw chodenickich i wyżej zalegających warstw grabowieckich (iły, piaskowce). Utwory plejstocenu to piaski i żwiry wodnolodowcowe, natomiast holocen reprezentują gruboziarniste żwiry

z otoczkami, przechodzące ku górze w żwiry z piaskiem, piaski i żwiry gliniaste, mułki, pyły i gliny. Łączna miąższość utworów plejstocenu i holocenu nie przekracza 11 m.

W ujęciu regionalnym podziału słodkich wód podziemnych Polski (Kleczkowski, 1988; Dowgiałło i in., red., 2002) obszar objęty badaniami przynależy do pasma przedkarpaccich zbiorników czwartorzędowych (Ppk). Biorąc pod uwagę regionalny podział zwykłych wód podziemnych Polski (Paczyński, 2007), rozpatrywany obszar należy do regionu

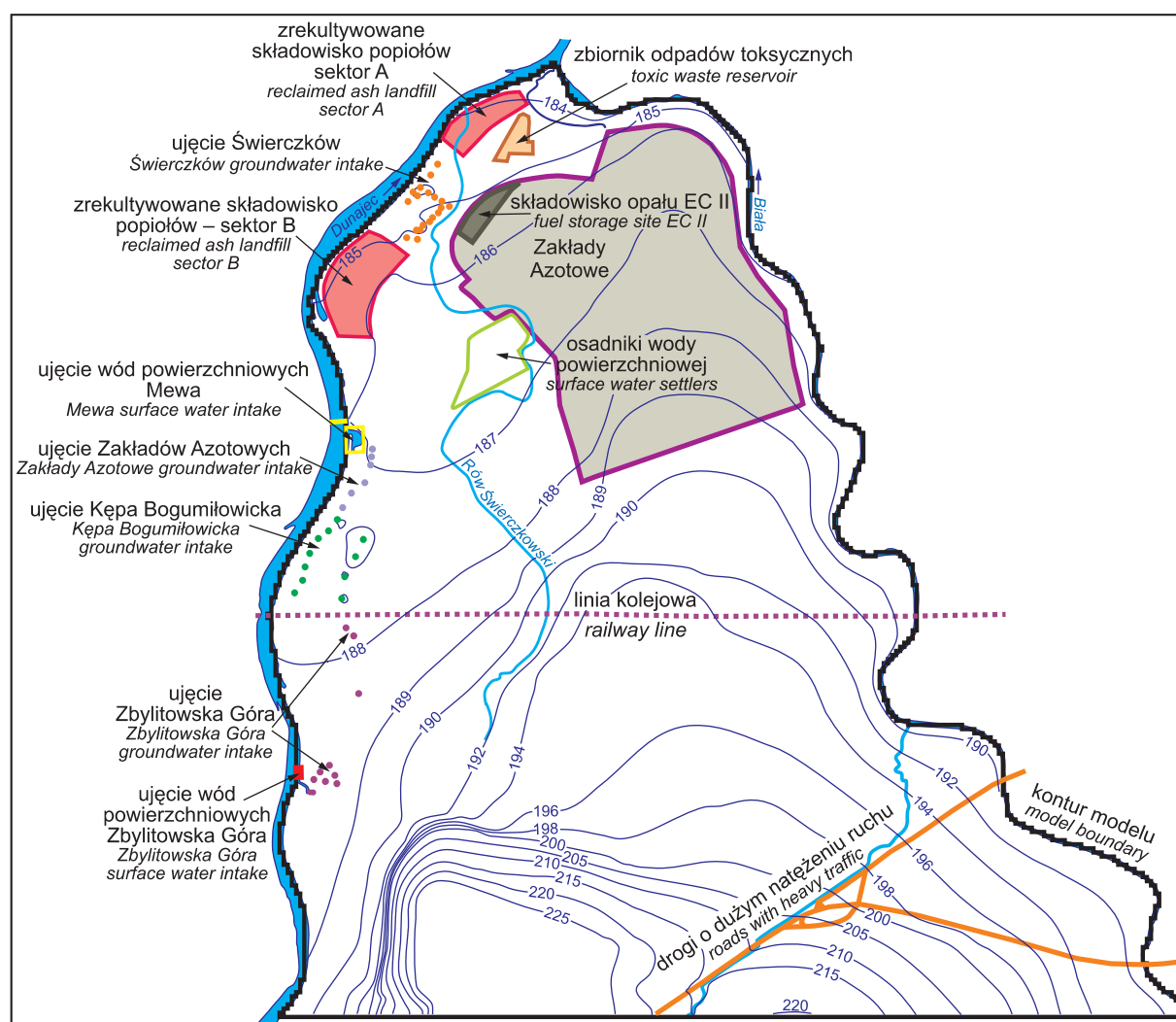


Fig. 1. Odtworzony układ hydroizohips (m n.p.m.) – stan na sierpień 2009 r. (wariant 1)

Current hydraulic head distribution (m a.s.l.) – as of August 2009 (variant 1)

przedgórskiego (VI), subregionu przedkarpackiego (VII). W analizowanym rejonie nie występują główne zbiorniki wód podziemnych GZWP, wydzielane zgodnie z podziałem Kleczkowskiego (red., 1990). Natomiast w regionalnym podziale hydrogeologicznym na jednolite części wód podziemnych rejon Tarnowa jest zlokalizowany w północnym fragmencie JCWPd nr 150, w którym w piętrze czwartorzędowym występuje jeden poziom wodonośny związany z utworami akumulacji rzecznej (<http://www.psh.gov.pl>).

W rejonie ujęć Tarnowskich Wodociągów występuje jeden użytkowy poziom czwartorzędowego piętra wodonośnego – w piaszczysto-żwirowych utworach plejstocenu i holocenu tarasu akumulacyjnego Dunajca, z licznymi domieszkami otoczków. Lokalnie powyżej występuje cienka i nieciągła warstwa gruntów spoistych: namulów, glin i pyłów Miąższość utworów wodonośnych na ogół zmienia się w granicach od 5 do 10 m. Współczynnik filtracji utworów wodonośnych przyjmuje wartości z przedziału od 10 do ponad 100 m/d, miejscami osiągając blisko 400 m/d.

Zasilanie warstwy wodonośnej zachodzi poprzez infiltrację opadów atmosferycznych. W warunkach naturalnych Dunajec ma charakter drenujący, stanowiąc wraz z rzeką Białą bazę drenażu dla wód podziemnych. W okresach wysokich

stanów wody w rzece, a dodatkowo w związku z intensywną eksploatacją ujęć zasilanie warstwy wodonośnej wspomaganie jest również infiltracją wód Dunajca oraz poprzez przerzut wód powierzchniowych do rowów infiltracyjnych, a rolę podstawy drenażu wód podziemnych przejmują ujęcia.

Zwierciadło wód podziemnych ma charakter swobodny, zalegając na ogół na głębokości nieprzekraczającej 6 m (jedynie w położonym na południu obszarze wysoczyznowym znacznie głębiej). Wahania zwierciadła wód podziemnych mogą dochodzić do kilku metrów, w zależności od wielkości eksploatacji ujęć oraz stanu wody w Dunajcu. W rozkładzie hydroizohips jest widoczny układ typowy dla obszaru międzyrzecza, zaburzony oddziaływaniem ujęć i progów piętrzącego na Dunajcu (fig. 1).

Wody podziemne czwartorzędowego piętra wodonośnego należą do wód słodkich. Dominują jony wodorowęglanowe i wapniowe, aczkolwiek istotny jest również udział jonów siarczanowych i magnezu. Wody klasyfikowane są głównie jako $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ i $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Mg}$. Mineralizacja eksploatowanych wód zmienia się w granicach od około 100 do blisko 1500 mg/l. Występujące lokalnie podwyższone stężenia jonów amonowych, chlorków i siarczanów są efektem oddziaływania antropopresji.

ZAOPATRZENIE W WODĘ

Tarnów jest zaopatrywany z ujęć zlokalizowanych w pobliżu Dunajca, ujmujących wody podziemne z poziomu plejstocenu, zasilanych z opadów atmosferycznych, bezpośrednio infiltrującymi wodami rzeczными oraz lokalnie wzbogacanych wodami z rowów nawadniających.

Ujęcie Tarnowskich Wodociągów Kępa Bogumiłowicka, położone przy Dunajcu na północ od linii kolejowej, ma charakter infiltracyjny. Wody podziemne są eksploatowane systemem lewarowym, z wykorzystaniem 11 studni. Średni pobór wód w 2009 r. wynosił blisko 8000 m³/d (333 m³/h), a poszczególne studnie osiągały wydajności z przedziału 204–1776 m³/d (8,5–74 m³/h). Zatwierdzone w czerwcu 2009 r. sumaryczne zasoby ujęcia wynoszą 12 103,2 m³/d (504,3 m³/h), przy depresji maksymalnej 2,30 m.

W północnej części rozpatrywanego rejonu, na wysokości Zakładów Azotowych, jest zlokalizowane ujęcie Świerczków, eksploatowane również przez Tarnowskie Wodociągi. Z istniejących 19 studni eksploatuje się systemem lewarowym od 11 do 14 studni. Średni pobór w 2009 r. wyniósł 6780 m³/d, przy wydatkach pojedynczych studni w granicach 24–1385 m³/d (1,0–57,7 m³/h). Natomiast do rowów nawadniających w latach 2000–2009 przerzucane było średnio 4140 m³/d wód Dunajca. Zatwierdzone w 2003 r. sumaryczne zasoby eksploatacyjne ujęcia Świerczków wynoszą 13 380 m³/d (557,5 m³/h), przy depresji maksymalnej 2,54 m.

Na południe od linii kolejowej, w Zbylitowskiej Górze, znajduje się nowe ujęcie Tarnowskich Wodociągów, składające się z 9 studni oraz studni zbiorczej. Do studni zbiorczej

dochodzą dwa drenaże, o długości blisko 50 m każdy, zabudowane na głębokości około 6 m. Wydajności pojedynczych studni osiągnięte podczas pomiarów pomiarowych wynosiły 254–1371 m³/d (10,59–57,14 m³/h), przy depresjach 1,14–3,29 m. Z przyczyn proceduralnych studnie ujęcia w Zbylitowskiej Górze nie mają jeszcze zatwierdzonych wielkości zasobów eksploatacyjnych i obecnie nie są eksploatowane.

Na północ od ujęcia Kępa Bogumiłowicka jest położone ujęcie wód podziemnych eksploatowane na cele bytowo-gospodarcze i chłodnicze przez Zakłady Azotowe SA w Tarnowie. Składa się ono z kilku studni wierconych i trzech studni Ranneya, położonych w międzywalu na prawym brzegu Dunajca. W 2009 r. eksploatowano tylko jedną ze studni Ranneya (R-VI), ze średnim wydatkiem 1702 m³/d. Otwory studzienne pełnią rolę studni awaryjnych. Zatwierdzone zasoby eksploatacyjne ujęcia wynoszą 411,3 m³/h, przy depresji 2,3 m.

W rejonie objętym badaniami są eksploatowane również dwa ujęcia wód powierzchniowych. Należące do Tarnowskich Wodociągów ujęcie wód powierzchniowych w Zbylitowskiej Górze położone jest około 200 m od nowego ujęcia wód podziemnych. Ujmowana woda jest wykorzystywana na potrzeby komunalne w Tarnowie i sąsiednich gminach. Obowiązujące pozwolenie wodno-prawne zezwala na pobór wody w ilości 51 840 m³/d (2160 m³/h).

Należące do Zakładów Azotowych ujęcie wód powierzchniowych Mewa znajduje się na prawym brzegu Dunajca.

Woda pobierana jest z zatoki czerpnej, w której odpowiedni poziom jest utrzymywany z wykorzystaniem stopnia piętrzącego przegradzającego Dunajec, położonego 60 m poniżej wlotu do zatoki. Ujmowana woda jest wykorzystywana do celów spożywczych, technologicznych i ochrony przeciwpożarowej oraz do napełniania rowów infiltracyjnych ujęcia Świerczków. W latach 2000–2009 średni roczny pobór wody wynosił 41 161 m³/d (1715 m³/h), przy zatwierdzonych zasobach 79 200 m³/d (3300 m³/h).

W rozpatrywanym rejonie zagrożenie jakości wód czwartorzędowego piętra wodonośnego jest związane głównie z płytkim zaleganiem zwierciadła wody i brakiem ciągłej pokrywy izolującej, która chroniłaby wody przed zanieczyszczeniami z powierzchni (Haładus i in., 2011). Wiel-

kość zagrożenia determinuje również rodzaj i charakter ognisk zanieczyszczeń. Największe zagrożenie stanowią zanieczyszczenia z obszaru Zakładów Azotowych, mogące przedostawać się do wód podziemnych poprzez nieszczelną kanalizację ściekową, przez nieodpowiednią izolację składowisk odpadów, niewłaściwy transport bądź też emisje do atmosfery. W pobliżu rozpatrywanych ujęć istnieje kilka składowisk: zreultywowane składowiska popiołów, zbiornik substancji toksycznych, składowisko węgla kamiennego. Do pomniejszych ognisk zanieczyszczeń zaliczyć można Rów Świerczkowski, osadniki wody przemysłowej, stacje benzynowe, sieć dróg, tereny zabudowy mieszkaniowej, pola uprawne.

OGÓLNE ZAŁOŻENIA MODELU NUMERYCZNEGO

Warunki hydrogeologiczne w czwartorzędowym piętrze wodonośnym, położonym w widłach Dunajca i jego prawobrzeżnego dopływu – Białej, odwzorowano za pomocą jednowarstwowego modelu, przy wykorzystaniu programu Processing Modflow (Chiang, Kinzelbach, 2001; Kulma, Zdechlik, 2009). Obszar filtracji o powierzchni 20,03 km² podzielono na 32 050 kwadratowych bloków obliczeniowych, o wymiarach $\Delta x = \Delta y = 25$ m.

Naturalne ograniczenie obszaru badań od strony zachodniej i wschodniej stanowiły rzeki, tj. odpowiednio Dunajec i Biała, które symulowano na modelu warunkami brzegowymi I rodzaju. Sztuczny południowy kontur modelu odwzorowano tzw. odsuniętą granicą (Kulma, Zdechlik, 2009).

Wewnątrz obszaru warunkami III rodzaju symulowano ciek powierzchniowy (bez nazwy), będący lewobrzeżnym dopływem Białej, Rów Świerczkowski i zatokę czerpną Mewa oraz rowy zasilające ujęcie Świerczków. Natomiast pracę ujęć wód podziemnych (Świerczków, Zakładów Azotowych,

Kępa Bogumiłowicka i nowo wybudowanego w Zbylitowskiej Górze) zrealizowano warunkami II rodzaju.

Kalibrację modelu przeprowadzono dla stanu zwierciadła wód podziemnych z sierpnia 2009 r., stwierdzonego pomiarami w 51 otworach obserwacyjnych i studniach kopanych. Odtworzony na modelu układ pola hydrodynamicznego wykazuje zadowalającą zgodność z pomiarami terenowymi – różnice pomiędzy wielkościami obserwowanymi a uzyskanymi na modelu mieściły się w przedziale od –1,1 do 1,0 m. Traktowane jako kryteria kalibracji przyjęte parametry statystyczne (Anderson, Woessner, 1991) kształtowały się następująco: błąd średni bezwzględny wyniósł 0,57 m, natomiast odchylenie standardowe 0,65 m. Odnosząc wielkości obliczonych kryteriów do różnicy pomiędzy najwyższymi a najniższymi stanami wód podziemnych (Kulma, Zdechlik, 2009), stwierdzonymi w obszarze badań (blisko 50 m), kalibrację należy uznać za prawidłową.

REZULTATY OBLICZEŃ PROGNOSTYCZNYCH

Rozwiązania prognostyczne realizowano na stworzonym i wykalibrowanym modelu, obejmującym fragment obszaru filtracji położony w widłach Dunajca i Białej. W wariantcie 1 odtworzono warunki hydrogeologiczne w czwartorzędowym piętrze wodonośnym z sierpnia 2009 r., zaburzone eksploatacją ujęć głębinowych, przy średnim stanie wód w ciekach powierzchniowych (fig. 1). W tym okresie symulowano pracę następujących ujęć: Świerczków, Zakładów Azotowych i Kępa Bogumiłowicka. Uwzględniono także działanie rowów nawadniających, do których podawano wody z Dunajca w celu zwiększenia możliwości eksploatacyjnych ujęcia Świerczków.

Prognostyczne obliczenia modelowe zrealizowano w dwóch wariantach, przy przyjęciu średnich niskich stanów

wody w ciekach powierzchniowych. Naturalne warunki hydrogeologiczne odtworzono w wariantcie 2. Uwzględniono w nim istniejący próg spiętrzący wody w Dunajcu w celu umożliwienia pracy ujęcia powierzchniowego Mewa.

W wariantcie 3 prognozowano pobory z ujęć wód podziemnych, uwzględniając wielkości zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych, stan techniczny studni, ich współdziałanie i możliwości zasilania warstwy wodonośnej (fig. 2). W ujęciu Świerczków odwzorowano pracę studni czynnych, z których możliwy pobór stanowi 61,1% zatwierdzonych zasobów. W przypadku ujęć Zakładów Azotowych i Kępa Bogumiłowicka pobór wynosił odpowiednio 93,2 i 97,2% wysokości zasobów eksploatacyjnych. Natomiast dla nowo wybudowanego ujęcia w Zbylitowskiej Górze ilość eksploato-

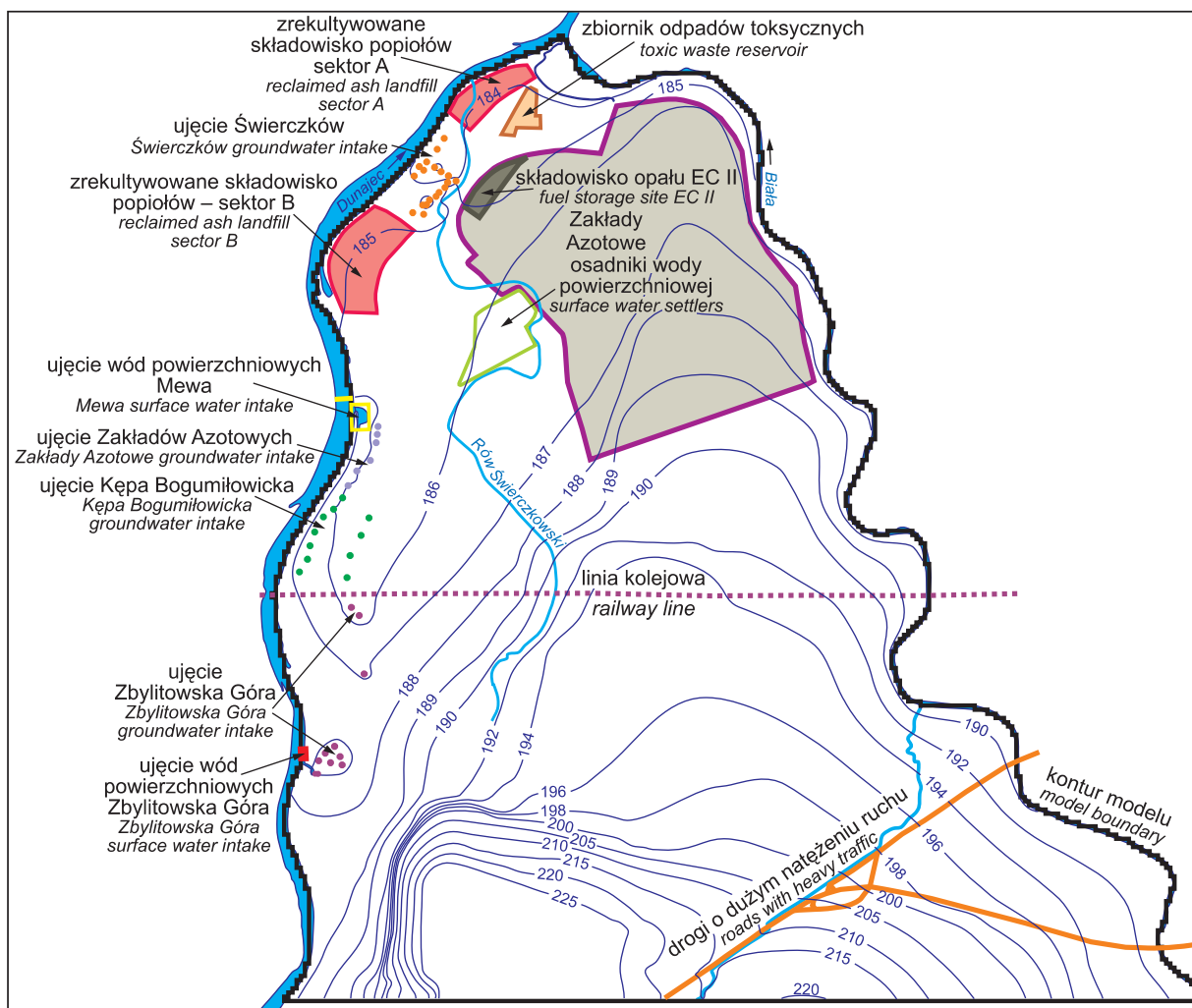


Fig. 2. Prognozowany układ hydroizohips (m n.p.m.) – wariant 3

Predicted hydraulic head distribution (m a.s.l.) – variant 3

wanych wód określono kierując się głównie wynikami indywidualnych próbnych pompowań studni i możliwościami zasilania poziomu wodonośnego.

Z obliczeń symulacyjnych wynika, że całkowita ilość wód podziemnych, która krąży w obrębie modelowanego fragmentu czwartorzędowego piętra wodonośnego, wynosi około 46 000 m³/d – stan prognozowany (wariant 3), i zmniejsza się do około 15 200 m³/d w odtworzonych warunkach naturalnych (wariant 2).

W warunkach zaburzonych eksploatacją głównym czynnikiem wpływającym na wielkość zasobów wodnych jest zasilanie z Dunajca z natężeniem od około 11 370 m³/d (wariant 1) do około 26 700 m³/d (wariant 3) oraz z opadów atmosferycznych w ilości około 9020 m³/d. Składniki te stanowią odpowiednio 39,3% i 58,3% oraz 29,3% i 19,7% sumy bilansowej. Zasilanie warstwy wodonośnej z opadów dominuje w warunkach naturalnych (wariant 2), stanowiąc około 59,4% w stosunku do ilości całkowitego przepływu. Od strony południowej do badanego obszaru dopływa ponad 3000 m³/d. Ponadto w trakcie eksploatacji ujęcia Świercz-

ków warstwa wodonośna jest zasilana z rowów nawadniających w ilości 4600–4700 m³/d. Natomiast szacowane dopływy wód z sieci wodociągowej i kanalizacyjnej (tzw. straty sieci), wynoszące od około 850 do około 1330 m³/d, nie stanowią istotnego źródła zasilania warstwy wodonośnej.

Dominującymi elementami drenażu w obrębie modelowanego obszaru filtracji są ujęcia (wariant 1 i 3), a w warunkach naturalnych – Dunajec i Biała (wariant 2). Łącznie ujęcia pobierają od około 16 480 m³/d (2009 r.) do około 34 370 m³/d (stan prognozowany), a więc odpowiednio 54,5% i 75,1% sumy bilansowej. Do Dunajca dopływa od 4250 m³/d (wariant 3) do około 8550 m³/d (wariant 2), tj. 9,3% i 56,3%. Natomiast Biała drenaże poziom wodonośny w ilości ponad 5000 m³/d.

Głównym źródłem zasilania ujęć wód podziemnych jest Dunajec (fig. 3, tab. 1). W warunkach aktualnych (stan na sierpień 2009 r.) dopływy z Dunajca do ujęć wynoszą od około 76% (ujęcie Kępa Bogumiłowicka) do około 93% (ujęcie Świerczków) w stosunku do ilości wód pobieranych. Natomiast w warunkach prognozowanych – od około 73%

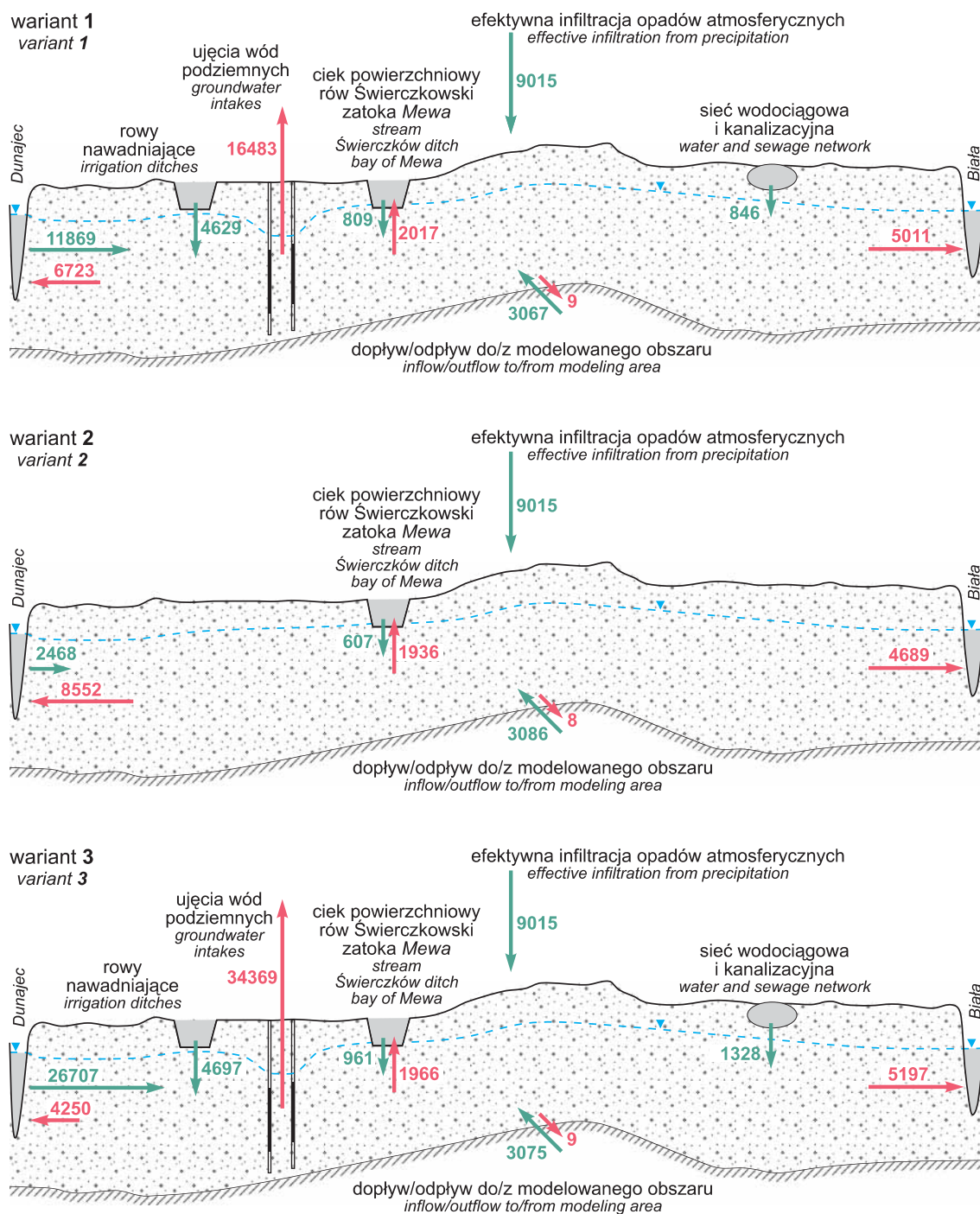


Fig. 3. Schematyczny bilans wód podziemnych [m³/d] w zrealizowanych wariantach

Schematic groundwater balance [m³/d] for the variants

(ujęcie w Zbylitowskiej Górze) do 91% (ujęcie Zakładów Azotowych).

W czwartorzędowym pięttrze wodonośnym, w rejonie ujęć Kępa Bogumiłowicka i Zakładów Azotowych obniżenie zwierciadła wód podziemnych wynosi 0,4–1,0 m, a na obszarze ujęcia Świerczków 0,2–0,5 m. Lokalnie w tym re-

jonie w wyniku działania rowów nawadniających tworzą się stożki impresji (wariant 1). Zwiększenie poboru wody przez ujęcia spowoduje wzrost obniżenia zwierciadła wody najczęściej do 1,5–2,0 m, a lokalnie nawet do 3,0 m. Natomiast na ujęciu Świerczków obniżenia będą się mieścić w przedziale 0,3–1,7 m.

Tabela 1

Bilans zasilania ujęć wód podziemnych na podstawie badań modelowych

Recharge balance of the groundwater intakes based on modelling research

Ujęcie	Wariant 1 (etap weryfikacji modelu)			Wariant 3 (stan prognozowany)		
	pobór [m ³ /d]	zasilanie [%]		pobór [m ³ /d]	zasilanie [%]	
		z Dunajca	z warstwy wodonośnej		z Dunajca	z warstwy wodonośnej
Świerczków	6 781	92,7*	7,3	8 172	88,3*	11,7
Zakładów Azotowych	1 703	82,7	17,3	9 195	91,0	9,0
Kępa Bogumiłowicka	7 999	75,7	24,3	11 769	86,3	13,7
Nowo wybudowane w Zbylitowskiej Górze	0	0	0	5 253	72,7	27,3
Suma	16 843	83,4	16,6	34 369	86,0	14,0

* łączny dopływ do ujęcia z Dunajca i rowów nawadniających

PODSUMOWANIE

Aglomeracja tarnowska zaopatrywana jest w wodę z intensywnie eksploatowanych ujęć położonych w widłach rzek Dunajec i Biała. Na niewielkim obszarze zlokalizowano cztery ujęcia wód podziemnych, w tym jedno nieeksploatowane, oraz dwa ujęcia wód powierzchniowych. W ich pobliżu położonych jest wiele ognisk zanieczyszczeń wód podziemnych.

Wyniki wykonanych badań modelowych mogą zostać wykorzystane m.in. do oceny wielkości zasobów dyspozycyjnych i eksploatacyjnych ujęć, stanowiąc wiarygodną podstawę do racjonalizacji gospodarki wodnej na tym obszarze.

Prace badawcze zrealizowano w ramach projektu MNiSW nr NN525 410535.

LITERATURA

- ANDERSON M.P., WOESSNER W.W., 1991 — Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport. Academic Press, San Diego New York Boston London Sydney Tokyo Toronto.
- CHIANG W.-H., KINZELBACH W., 2001 — 3D-Groundwater Modeling with PMWIN. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York.
- DOWGIAŁŁO J., KLECZKOWSKI A.S., MACIOSZCZYK T., RÓŻKOWSKI A. (red.), 2002 — Słownik hydrogeologiczny. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- HAŁADUS A., KANIA J., SZCZEPAŃSKI A., ZDECHLIK R., WOJTAL G., 2011 — Wykorzystanie badań modelowych do oceny możliwości poboru wody w widłach Dunajca i Białej. *W: Współczesne problemy hydrogeologii* (red. J. Górski, A. Sadurski). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **445**, *Hydrogeologia*, z. XII/1: 161–168.
- KLECZKOWSKI A.S., 1988 — Regionalizacja słodkich wód podziemnych Polski w zmodyfikowanym ujęciu. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*, T. III: 1–6. 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. AGH, Kraków.
- PACZYŃSKI B., 2007 — Podstawy regionalizacji hydrogeologicznej. *W: Hydrogeologia regionalna Polski: T.1 Wody słodkie*. (red. B. Paczyński, A. Sadurski): 56–69. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- <http://www.psh.gov.pl>

SUMMARY

The drinking water is supplied to the Tarnów city mainly by the intakes located in the confluence of the Dunajec and Biała rivers. In this relatively small area, there are four groundwater intakes (including three active with intensive exploitation of groundwater resources) and two surface water intakes. There are also many sources of groundwater contamination. A single-layer model was constructed to produce the present (August, 2009) groundwater flow conditions in the area between the Dunajec and Biała rivers. The modelled

area covers 20 km². Groundwater flow model solutions indicate the possibilities of higher abstraction of groundwater coming mainly from infiltration of river water. Currently, approximately 76–93% of the exploited groundwater comes from direct infiltration from the Dunajec River. The predicted exploitation of groundwater in near future will be doubled with infiltration from the Dunajec River at the level of approximately 73–91% of the exploited water.