

NATURALNE WARUNKI PRZEPIYU WÓD PODZIEMNYCH W REJONIE LEŻAJSKA, ODTWORZONE NA PODSTAWIE BADAŃ MODELOWYCH

MODELLING OF NATURAL CONDITIONS OF GROUNDWATER CIRCULATION IN THE LEŻAJSK REGION

ANDRZEJ HAŁADUS¹, RYSZARD KULMA¹, ANDRZEJ SZCZEPAŃSKI¹

Abstrakt. Zapewnienie dostaw wody słodkiej dla celów komunalnych i przemysłowych prowadzi w niektórych regionach do nadmiernej eksploatacji istniejących zasobów. W takiej sytuacji znajduje się Leżajsk nad Sanem, którego gospodarka wodna wymaga racjonalizacji. Warunkiem jest ustalenie wielkości odnawialnych zasobów wód podziemnych na podstawie badań wykonanych na modelu hydrogeologicznym. Ich wynikiem jest m.in. odtworzenie naturalnego stanu hydrodynamicznego w holocenijskim poziomie wodonośnym i wskazanie skutków, jakie eksploatacja licznych ujęć studziennych z łączną wydajnością wynoszącą około 9500 m³/d powoduje w środowisku wodno-gruntowym.

Słowa kluczowe: warunki hydrogeologiczne, badania modelowe.

Abstract. In some regions the supply of fresh water for domestic and industrial use leads to excessive exploitation of existing groundwater resources. This is the case of Leżajsk town upon the San River. The water management in this area requires optimization. The principal factor is the determination of renewable groundwater resources based upon the hydrogeological modelling. Among others, the modelling results in reconstruction of natural hydrodynamic conditions within the Holocene groundwater horizon and reveals the impact of exploitation of numerous groundwater intakes discharging totally about 9500 m³/24h on the aquatic environment.

Key words: hydrogeological conditions, hydrogeological modelling.

WSTĘP

Obszar badań położony jest w północno-wschodniej części województwa podkarpackiego, w obrębie powiatu Leżajsk. Stanowi on centralny fragment prowincji zwanej Kotliną Sandomierską (Kondracki, 2002). Wyraźnie zaznaczającymi się elementami geomorfologicznymi są: Dolina Sanu – zajmująca część północno-wschodnią i Wysoczyzna Kolbuszowska – obejmująca południowo-zachodni fragment obszaru badań modelowych.

Eksploatacja wód podziemnych odbywa się głównie w obrębie fragmentu obszaru holocenijskiego głównego

zbiornika wód podziemnych GZWP 425 – Dębica–Stalowa Wola–Rzeszów (Kleczkowski red., 1990). Koncentracja poboru wody z ujęć studziennych rozmieszczonych na niewielkim obszarze spowodowała znaczące zmiany warunków hydrodynamicznych. Czterech głównych użytkowników pobiera ze zbiornika 88% ogólnej ilości wykorzystywanej wody pitnej, a zasoby eksploatacyjne ujęć należących do tych użytkowników stanowią około 40% całkowitych zatwierdzonych zasobów.

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Zgodnie z nowym podziałem Polski na jednolite części wód podziemnych obszar badań położony jest w południowo-zachodniej części JCWPd nr 127 i zajmuje 1,4% powierzchni tej jednostki.

Celem badań była ocena warunków krążenia wody w obrębie holocenijskiego poziomu wodonośnego, umożliwiającą określenie zasobów wód podziemnych. Stwarza to podstawy do racjonalnej gospodarki wodami i ich ochrony.

WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Rejon Leżajska położony jest w obrębie zapadliska przedkarpackiego. Tę przedgórską nieckę wypełniają utwory miocenu, spoczywające niezgodnie na utworach prekambryjskich, paleozoicznych i mezozoicznych. Osady miocenu są przykryte utworami holocenu o zmiennej miąższości, uzależnionej głównie od morfologii stropu podłoża (fig. 1).

Wody podziemne występujące w obrębie utworów holocenijskich stanowią podstawowy poziom wodonośny użytkowany w tej części zapadliska przedkarpackiego (Bielec i in., 1998). Jest on zasilany na drodze infiltracji opadów atmosferycznych. Warunki infiltracji są zróżnicowane w zależności od rodzaju utworów przypowierzchniowych, zalegających powyżej zwierciadła wody. Utwory o dobrej przepuszczalności w strefie aeracji (głównie piaski i piaski pylaste) zajmują znaczne przestrzenie, głównie w północnej, północno-wschodniej i środkowej części obszaru. Czas pionowego przesączania jest krótki i nie przekracza 5 lat. Utwory o słabej przepuszczalności (pyły, gliny piaszczyste) występują sporadycznie w formie odrębnych płatów, grupujących się zwłaszcza w części środkowej obszaru. Czas pionowego przesączania ocenia się na 5–25 lat. Utwory o znikomej przepuszczalności (czas przesączania 25–100 lat), w postaci pokryw lessów i glin zwałowych o znacznej miąższości, po-

jawiają się tylko w południowej części obszaru, w obrębie Wysoczyzny Kolbuszowskiej.

Zwierciadło wody na przeważającej części obszaru występowania holocenijskiego poziomu wodonośnego ma charakter swobodny, a jedynie lokalnie może wykazywać niewielki napór. Warstwę wodonośną stanowią żwiry, pospółki i piaski, a nieprzepuszczalne podłoże – ily miocenu. Miąższość warstwy zawodnionej jest zmienna i waha się od około 3,5 m w brzeźnych częściach doliny Sanu i doliny Trzebońnicy do blisko 20 m w częściach centralnych tych dolin. Utworami zawodnionymi na obszarze wysoczyznowym, często o znacznych miąższościach dochodzących do około 30 m, są utwory pylasto-piaszczyste oraz lessy (Radwan, 1990).

W obrębie niskiego i średniego tarasu doliny Sanu zwierciadło wody występuje na głębokości 2,5–3,5 m. Wyjątek stanowią obszary podmokłe, gdzie woda występuje blisko powierzchni. W obrębie tarasu wysokiego zwierciadło wody zalega na głębokości 5,5–15,5 m. Na obszarach wysoczyznowych zwierciadło wody występuje na głębokości 8–22 m, choć lokalnie, zwłaszcza na obrzeżach Płaskowyżu Kolbuszowskiego, może być obserwowane nawet na głębokości do 40 m (Górka i in., 1996).

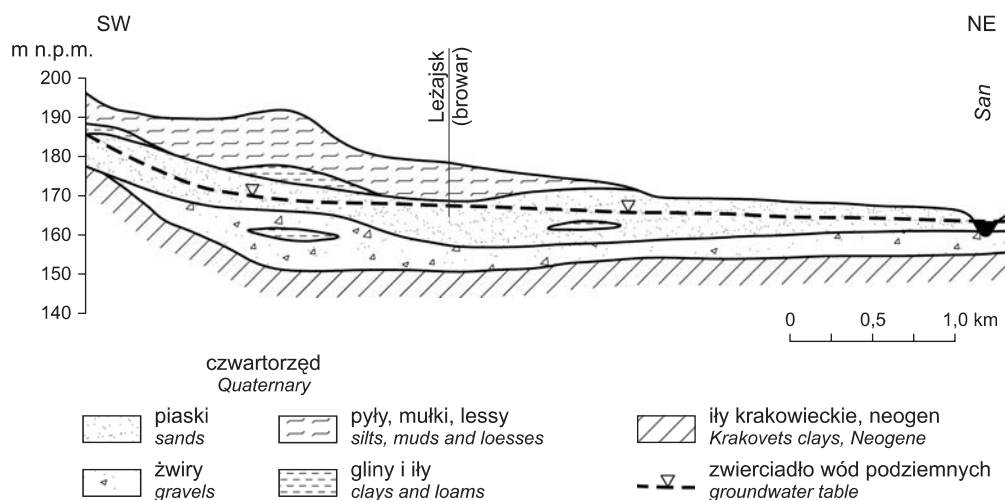


Fig. 1. Przekrój hydrogeologiczny przez rejon ujęcia wód podziemnych w Leżajsku

Hydrogeological cross-section through the area of groundwater intakes in Leżajsk

Na obszarze doliny kopalnej Sanu przeważają wielkości współczynnika filtracji 20–40 m/d (*op. cit.*), choć sporadycznie mogą nawet znacznie przekraczać 100 m/d. Poza obszarami dolinnymi parametr charakteryzujący przepuszczalność ośrodka wodno-gruntowego przyjmuje przeważnie niewielkie wartości i najczęściej zawiera się w granicach 2–5 m/d.

W dolinie Sanu oraz ujściowym fragmencie doliny Trzebońnicy dominują wydajności 30–70 m³/h, choć lokalnie (np. na zachód od Starego Miasta) mogą przekraczać górną

granice tego przedziału. Poza obszarem struktury kopalnej wydajności zawierają się zwykle w granicach 2–10 m³/h lub lokują się w klasie poniżej 2 m³/h. Na obszarze wysoczyznowym rejonu o korzystniejszych warunkach dla zaopatrzenia w wodę (wydajność 10–30 m³/h i więcej) występują rzadko i zwykle mają niewielki zasięg (np. fragmentarycznie pomiędzy Brzozą Królewską, Huciskiem i Malaniskami).

BADANIA MODELOWE

OGÓLNE INFORMACJE O MODELU

Jednowarstwowy model warunków hydrogeologicznych poziomu holoceniowego w rejonie Leżajska został opracowany przy wykorzystaniu programu cyfrowego Processing Modflow (Chiang, Kinzelbach, 1998).

Bezpośrednimi badaniami modelowymi objęto obszar o powierzchni 127,48 km², podzielony na 3059 bloków obliczeniowych. Siatkę podziału obszaru filtracji tworzyły bloki prostokątne o zróżnicowanych wymiarach; wzdłuż obu osi (x i y) przyjmowały one wartości w granicach od 100 do 400 m. Zagęszczona siatka bloków o wymiarach 100 × 100 m obejmowała centralny fragment modelu, w obrębie którego znalazła się większość studni głównych użytkowników warstwy wodonośnej. Większe bloki obliczeniowe, położone peryferyjnie, w których rozpoznanie hydrogeologiczne było zdecydowanie słabsze, zapewniły ciągłość warstwy wodonośnej w przyjętych granicach obszaru filtracji.

Ograniczenie obszaru badań modelowych stanowiły naturalne przebiegi cieków powierzchniowych: Sanu – od strony północno-wschodniej, Trzebońnicy – od strony północno-zachodniej, Błotni (lewobrzeżny dopływ Sanu) – od strony południowo-wschodniej, i Tarlaki (prawobrzeżny dopływ Trzebońnicy) – od strony południowo-zachodniej. Ograniczenie założone na wododziale obejmowało jedynie niewielki fragment wododziałowej części obszaru filtracji pomiędzy Błotnią a Tarlaką (około 3% sumarycznej długości zewnętrznych granic modelu).

Wewnętrznymi warunkami brzegowymi modelowanego obszaru filtracji były ciek powierzchniowy (Malinówka i Jagódka), stawy osadowe oczyszczalni ścieków w rejonie miejscowości Sarzyna oraz główne ujęcia wód podziemnych dla: Zakładów Piwowarskich, ZPOW Hortex, ZPC Silikaty, Fabryki Maszyn, Bazy PKS, szpitala, wodociągów miejskich i innych użytkowników z terenu miasta.

WERYFIKACJA MODELU

Weryfikacja modelu obszaru filtracji (wariant 0) została przeprowadzona dla aktualnego stanu hydrodynamicznego,

potwierzonego kontrolnymi badaniami terenowymi. Wykorzystano między innymi pomiary zalegania zwierciadła wody z ponad 150 otworów obserwacyjnych i studziennych. Różnice uzyskane między wielkościami obserwowanymi i uzyskanymi na modelu zawierały się w granicach do ±0,4 m (błąd średni ok. 0,25 m), a odchylenie standardowe wyniosło 0,19 m. Zarówno krótki przedział czasu, z jakiego pochodziły pomiary zwierciadła wody, jak i liczba punktów pomiarowych pozwoliły uznać wiarygodność rozkładu wysokości hydraulicznej na całym obszarze.

Przyjęta dyskretyzacja obszaru filtracji umożliwiła indywidualne odwzorowanie każdej studni eksploatującej wody podziemne. Sumaryczna wydajność wszystkich studni uwzględniona w fazie tarowania modelu wynosiła 9458 m³/d (394,1 m³/h), co stanowiło około 18,0% zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych ujęć wód podziemnych położonych w obrębie modelowanej części zbiornika. Wielkość tych zasobów oceniona jest na 52 521 m³/d (2188,4 m³/h) (Bielec i in., 1998).

WYNIKI ROZWIĄZANIA PROGNOSTYCZNEGO

Obliczenia pola hydrodynamicznego dla odtworzonych warunków naturalnych (wariant 1), a więc przy braku poboru wody z ujęć wód podziemnych, wykonano na zweryfikowanym modelu czwartorzędowej warstwy wodonośnej (wariant 0). Prognozę przepływów filtracyjnych opracowano przy średnich stanach wody w Sanie.

Uzyskane rezultaty obliczeń symulacyjnych pozwalają między innymi na sporządzenie bilansu wód podziemnych w obrębie obszaru objętego badaniami modelowymi i określenie wielkości obniżenia zwierciadła wody spowodowanego działaniem ujęć. Wyniki badań modelowych mogą być wykorzystane do określenia zasobów dyspozycyjnych i eksploatacyjnych, a więc stanowić wiarygodną podstawę dla racjonalizacji gospodarki wodnej na tym obszarze.

Całkowita ilość wód podziemnych uwzględniona w bilansie poziomu holoceniowego na całym obszarze objętym modelem hydrogeologicznym (tab. 1), wynosi około 49 930 m³/d – w warunkach zaburzonych eksploatacją (wariant 0) i zmniejsz-

Tabela 1

Bilans przepływów wód podziemnych w holocénkim poziomie wodonośnym w rejonie Leżajska, według badań modelowych

Groundwater balance of the Holocene horizon in the Leżajsk region as revealed by modelling

Składnik bilansu strumienia filtracyjnego	Nateżenie przepływu strumienia filtracyjnego [m ³ /d]	
	etap weryfikacji modelu (wariant 0)	odtworzone warunki naturalne (wariant 1)
Efektywna infiltracja opadów atmosferycznych	48400 / 0	48400 / 0
Dopływ / odpływ z zewnętrznych granic modelowanego obszaru, w tym:	129 / - 34133	99 / -37981
– z Sanu (brzeg NE)	0 / - 18620	0 / -21327
– z Trzebońnicy (brzeg NW)	15 / - 4422	0 / -5459
– z Tarlaki (brzeg SW)	7 / -4084	6 / -4100
– z Błotni (brzeg SE)	107 / -7007	93 / -7095
Zasilanie / drenaż wewnątrz modelowanego obszaru, w tym:	1403 / -15762	610 / -11038
– Jagódka	797 / -2759	236 / -3477
– Malinianka	543 / -2975	363 / -3428
– pozostałe ciekły	63 / -570	11 / -4133
– pobór z ujęć wód podziemnych	0 / -9458	0 / 0
Suma składników bilansu	49932 / -49895	49109 / -49019

sza się nieznacznie do około 49 110 m³/d — w odtworzonych warunkach naturalnych (wariant 1).

W zasilaniu modelowanej warstwy wodonośnej główną rolę odgrywała infiltracja opadów atmosferycznych. Wynosiła ona 48 400 m³/d, co stanowiło od 96,9% (wariant 0) do 98,6% (wariant 1) ogólnej ilości wód bilansowych. Zupełnie podrzędne znaczenie miało zasilanie z rzek, osiągające około 1400 m³/d (2,8%) w warunkach pracy ujęć wodnych i 610 m³/d (1,2%) — w odtworzonych warunkach pierwotnych.

Po stronie rozchodów bilansowych dominował drenaż poziomu wodonośnego przez rzeki, stanowiące zewnętrzne granice modelowanego obszaru. Na etapie weryfikacji modelu (wariant 0) wynosił on około 34 130 m³/d, tj. około 68,4% sumy bilansowej i wzrósł do około 37 980 m³/d (77,5%) w odtworzonych warunkach naturalnych (wariant 1). Poza odbiorem wody przez studnie eksploatacyjne z wydajnością 9460 m³/d (19,0%) ważną rolę spełniają ciekły powierzchniowe drenujące około 6300 m³/d (12,5%). W sytuacji braku poboru wody przez studnie ujęć (wariant 1) rzeki odbierają z warstwy około 11 040 m³/d wody, a więc około 22,5% w stosunku do ilości całkowitej.

Dominującym elementem drenażu w obrębie modelowanego obszaru filtracji jest San. W warunkach pracy ujęć wodnych (wariant 0) rzeka odbiera z warstwy czwartorzędowej

18 620 m³/d, a więc około 37,3% ilości wód drenowanych. Jej rola wzrasta i przejawia się zwiększoną do około 21 330 m³/d (43,5%) intensywnością drenażu w odtworzonych warunkach pierwotnych.

Prognozowane położenie zwierciadła wody umożliwia dokonanie oceny warunków krążenia i wymiany wody w obrębie holocénkiego poziomu wodonośnego. W odtworzonych warunkach naturalnych układ hydroizohips wskazuje, że główny przepływ strumienia odbywał się z południa na północny wschód i północ, a podstawą drenażu był San (fig. 2). Lokalnie strumień ten był modyfikowany przez ciekły powierzchniowe, zwłaszcza w południowej części obszaru, gdzie położenie wododziału wyznaczało kierunki przepływu strumienia wód podziemnych ku wschodowi i zachodowi. Rzędne zwierciadła wody na obszarze badań zmieniały się od około 160 m n.p.m. w części północnej do około 230 m n.p.m. w części południowej.

Eksploatacja wód podziemnych prowadzona na potrzeby mieszkańców Leżajska i działających tam zakładów przemysłowych koncentruje się w części północnej obszaru, w obrębie GZWP 425 – Dębica–Stalowa Wola–Rzeszów. W jej wyniku wytworzył się lej depresyjny o powierzchni około kilkunastu km², z obniżeniami zwierciadła wody przekraczającymi 3,5 m. Lokalnie, w studniach ujęć wodnych, depresja może przekraczać 5 m.

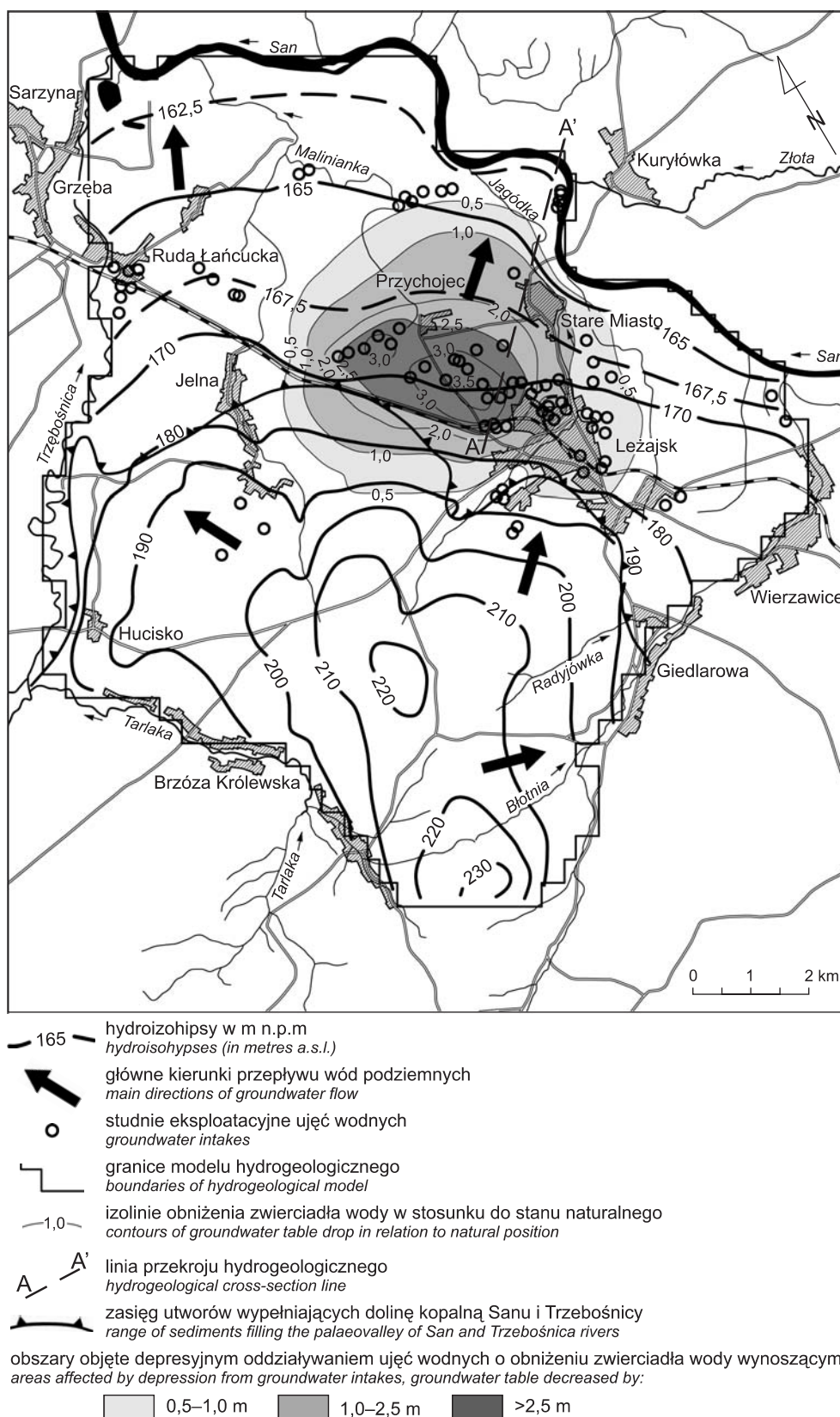


Fig. 2. Mapa hydroizohips holocenijskiego poziomu wodonośnego w rejonie Leżajska – stan naturalny odtworzony na modelu hydrogeologicznym

Hydroisohyps of the Holocene groundwater horizon in the Leżajsk region – natural conditions reconstructed by modelling

PODSUMOWANIE

Odtworzenie naturalnych warunków przepływu wód podziemnych w rejonie Leżajska wykonano metodą modelowania matematycznego przy wykorzystaniu programu obliczeniowego Processing Modflow. Jednowarstwowy model hydrogeologiczny obszaru filtracji obejmował holocenijski poziom wodonośny.

Północną część badanego obszaru filtracji stanowi fragment zbiornika GZWP 425 – Dębica–Stalowa Wola–Rzeszów.

Wiarygodne podstawy do odwzorowania pierwotnych warunków przepływu uzyskano przez rekonstrukcję obecnego stanu zwierciadła wody, stwierdzonego pomiarami terenowymi, uwzględniającymi skutki pracy ujęć wód podziemnych.

Zasoby wodne holocenijskiego poziomu wodonośnego są formowane głównie przez infiltrację opadów atmosferycznych. W obrębie modelowanego obszaru wielkość zasilania powierzchniowego wynosi 48 400 m³/d. Współczynnik odpływu podziemnego osiąga wielkość 4,39 l/s·km², co stanowi około 23% wysokości opadów z wielolecia.

Studnie ujęć wodnych w rejonie Leżajska skupione są na stosunkowo niewielkim obszarze. Zbyt duża koncentracja

poboru wód może doprowadzić do powstania i utrwalenia niekorzystnych tendencji prowadzących do naruszenia równowagi koniecznej przy odnawianiu zasobów wód podziemnych. Już obecnie zatwierdzone zasoby eksploatacyjne, wynoszące około 52 500 m³/d, przekraczają wielkość zasobów odnawialnych, wynikającą z zasilania powierzchniowego.

Rezultaty obliczeń modelowych, ustalające wielkość zasobów odnawialnych w naturalnych uwarunkowaniach krążenia wody, mogą zostać wykorzystane do określenia zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych i weryfikacji zasobów eksploatacyjnych ujęć studziennych oraz zasięgu stref ochronnych. Stwarzają również dobrą podstawę do prowadzenia racjonalnej gospodarki wodnej w rejonie Leżajska.

Artykuł powstał przy wykorzystaniu środków finansowych uzyskanych w ramach działalności statutowej Katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, WGGiOŚ, AGH (umowa 11.11.140.139).

LITERATURA

- BIELEC B., BADACZ G., OPERACZ T., 1998 – Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, ark. Leżajsk. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- CHIANG W.-H., KINZELBACH, W., 1998 – Processing Modflow. A Simulation System for Modeling Groundwater Flow and Pollution. Instrukcja programu, Hamburg-Zurich.
- GÓRKA J., LEŚNIAK J., SZKLARCZYK T., 1996 – Dokumentacja hydrogeologiczna zbiorników wód podziemnych nr 425, 426, 427. Arch. PROGEO Sp. z o.o., Kraków.
- KLECZKOWSKI A.S. (red.), 1990 – Mapa obszarów Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony, skala 1:500 000. AGH, Kraków.
- KONDRACKI J., 2002 – Geografia fizyczna Polski. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- RADWAN J., 1990 – Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych rozpoznanych w kategorii C zapadliska przedkarpackiego – obszar dolnego Sanu. Arch. Przeds. Geol., Kraków.

SUMMARY

The supply of fresh water for domestic and industrial use leads in some regions to excessive exploitation of existing groundwater resources. Our case study concerns the town of Leżajsk at the San River, where the supply of high-quality potable water is based exclusively on the Holocene water-bearing horizon. Groundwater extraction with the total efficiency of approximately 9500 m³/d, from a number of wells located in a relatively small area, led to development of a cone of depression with the area of several square kilometres. Such extensive influence of groundwater extraction may cause both violation of natural ability of groundwater resources to be recharged and deterioration of groundwater quality.

The existing situation may be improved by more effective water management that requires establishing renewable groundwater resources based on a hydrogeological model. Such a 1-layer numerical model of the Holocene water-bearing hori-

zon was developed for the area of Leżajsk with use of the Processing Modflow software. The model reflects sand-gravel sediments underlying impermeable clay layers. The area of approximately 127 km² was limited by natural rivers and streams, while the recharge of groundwater was due to direct infiltration of precipitation.

The verified model allowed for reconstruction of natural groundwater flow conditions. Predicted groundwater table elevations enabled to evaluate groundwater circulation and exchange conditions within the Holocene water-bearing horizon, as well as to define the renewable resources, which were the basis for estimation of the disposable resources. It was found that already now the approved exploitation resources exceed the renewable resources of groundwater related to the Holocene water-bearing horizon.