

Andrzej KOWALCZYK¹, Krystyn RUBIN¹, Wiktor TREICHEL², Jacek WRÓBEL¹

**ODNAWIALNOŃ WÓD PODZIEMNYCH SZCZELINOWO-KRASOWEGO
ZBIORNIKA LUBLINIEC–MYSZKÓW W WIELTLE BADAŃ MODELOWYCH**

(z 8 fig.)

**GROUNDWATER RECHARGE OF KARST-FRACTURED MAJOR AQUIFER
LUBLINIEC–MYSZKÓW BY MEANS OF MATHEMATICAL MODELLING**

(with 8 Figs.)

Abstract. The Lubliniec–Myszków aquifer is situated in Cracow–Silesia monocline within an area of ca. 2100 km². The water-bearing complex is composed of dolomites, limestones and marls of Triassic age with a total thickness of about 10–250 m. Throughout most of the area this is overlain by Upper Triassic and Lower Jurassic formations with a very low permeability. The total amount of water withdrawn from the aquifer is actually about 48 millions m³ per year. In order to recognize main sources of groundwater recharge of the Triassic aquifer a mathematical model of the system was developed using the Modflow computer code. In the model a steady-state groundwater flow was simulated to refine the water balance of the system. The water budget shows that the total renewable groundwater resources of the Triassic aquifer are equal to 39 mm per year (1.2 dm³/skm²). The main source of total renewal is induced leakage of water from shallow aquifer through semipermeable deposits of Upper Triassic formation and it is equal to 25 mm per year. However, this leakage is inhomogeneous over the aquifer and varies from less to 9 mm per year up to 69 mm per year.

Key words: leakage, groundwater balance, groundwater renewal, mathematical model.

Abstrakt. Główny zbiornik wód podziemnych (GZWP) 327 Lubliniec–Myszków jest zlokalizowany w obszarze monokliny 1 sko-krakowskiej i zajmuje powierzchni 1 około 2100 km². Kompleks wodono-ny jest zbudowany z dolomitów, wapieni i margli triasu, a jego mi-1 szo wynosi od 10 do 250 m. Na przewa-aj-cej-1 cz-1 ci obszaru kompleks wodono-ny jest przykryty seri-1 utworów słabo przepuszczalnych triasu górnego i jury dolnej. Aktualna eksploatacja wód podziemnych z kompleksu wodono-nego serii-1 w-1 glanowej triasu wynosi około 48 mln m³/rok. W celu oceny odnawialno-1 ci wód podziemnych zbiornika triasowego zbudowano model numeryczny systemu wodono-nego za pomoc-1 programu z pakietu

¹ Uniwersytet 1 ski, Wydział Nauk o Ziemi, ul B-1 dzi-1 ska 60, 41-200 Sosnowiec;

e-mail: kowalcz@ultra.cto.us.edu.pl

² Politechnika Warszawska, Wydział In-1 ynierii-1 rodowiska, Instytut Systemów In-1 ynierii-1 rodowiska, ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa; e-mail: wiktortreichel@is.pw.edu.pl

Modflow. Wykonano symulacje przepływu wód dla warunków ustalonych. W wyniku tych badań określono bilans kręcenia wód w systemie wodononym. Ustalono, że odnawialność wód zbiornika triasowego wynosi 39 mm/rok ($1,2 \text{ dm}^3/\text{skm}^2$). Głównym źródłem zasilania jest przeciekanie siwów z poziomów przypowierzchniowych poprzez utwory słabo przepuszczalne; wynosi ono 25 mm/rok. Intensywność tego przeciekania jest zróżnicowana w obszarze zbiornika i zmienia się od wartości poniżej 9 do 69 mm/rok.

Słowa kluczowe: przeciekanie, odnawialność, bilans, model matematyczny.

WSTĘP

Główny zbiornik wód podziemnych Lubliniec–Myszków został wydzielony w zasięgu występowania utworów w górnym triasie dolnego i środkowego monokliny Łódzko-krakowskiej. Jego powierzchnia wynosi około 2100 km^2 . Od około pięćdziesięciu lat jest on intensywnie eksploatowany ujęciami studziennymi. Całkowity pobór wody z tego zbiornika wynosił maksymalnie około $60 \text{ mln m}^3/\text{rok}$ z końcem lat osiemdziesiątych, a obecnie zmniejszył się do około $48 \text{ mln m}^3/\text{rok}$. Specyfiką tego zbiornika jest szczelinowo-krasowo-porowy charakter hydrauliczny wodonośca, który ponadto jest przeciętany gęstą siecią uskóków oraz częściowo przykryty od góry kompleksem utworów słabo przepuszczalnych.

Długotrwała, intensywna eksploatacja wód podziemnych dowolnego systemu wodonośnego jest możliwa generalnie dzięki ograniczeniu odpływu wody z systemu oraz wzmożeniu jego zasilaniu (Castany, 1982; Macioszczyk, Kazimierski, 1990; Johnston, 1997; Maddock III, Vionnet, 1998). Ograniczenie odpływu podziemnego przejawia się m.in. zmniejszeniem zasilania podziemnego wód powierzchniowych oraz zredukowaniem odpływu do innych zbiorników wód podziemnych. Wzrost zasilania następuje w wyniku wzmożonej infiltracji wody z rzek, zwiększonego dopływu bocznego wód podziemnych ze zbiorników otaczających dany system oraz w następstwie zintensyfikowanego pionowego przeciekania siwów z poziomów przypowierzchniowych lub wgłębnych, zwiększanych z ujemnym poziomem. Zmiany wywołane intensywnym poborem wody manifestują się gwałtownymi i rozległymi obniżeniami zwierciadła wód podziemnych, zmianami kierunków odpływu i wytworzeniem się lokalnych stref drenujących wokół dużych ujęć.

Głównym celem niniejszej pracy jest identyfikacja i ocena ilościowych źródeł zasilania wód podziemnych triasowego GZWP Lubliniec–Myszków, stanowiących o odnawialności zasobów wód tego zbiornika w warunkach hydrodynamicznych ukształtowanych długotrwałą, intensywną eksploatacją tych wód ujęciami studziennymi. W celu rozwiązania zadania opracowano koncepcyjny model warunków hydrogeologicznych obszaru, a następnie zbudowano model numeryczny systemu wodonośnego. Umożliwiło to rozpoznanie układu kręcenia i bilansu wód podziemnych w systemie obejmującym swym zasięgiem zbiornik GZWP Lubliniec–Myszków. Badania modelowe wykonano dla ustalonych warunków przepływu wód, wykorzystując program z pakietu Modflow.

CHARAKTERYSTYKA HYDROGEOLOGICZNA SYSTEMU WODONOŚNEGO GZWP LUBLINIEC–MYSZKÓW

Obiektem badań jest system wodonośny wyznaczony przez pionowe granice triasowego GZWP nr 327 Lubliniec–Myszków (fig. 1; Rókoski, red., 1990). W artykule przedstawiono tylko najważniejsze informacje charakteryzujące warunki hydrogeologiczne obszaru, mające od-

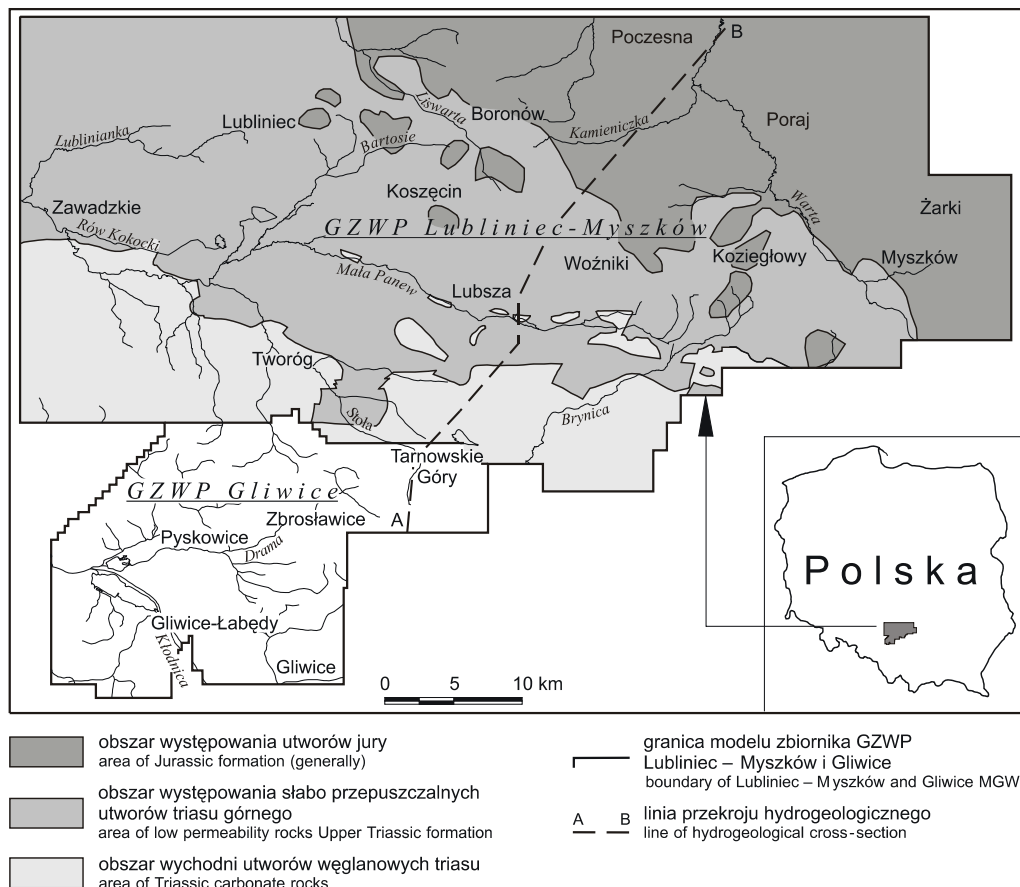


Fig. 1. Szkic geologiczny obszaru GZWP Lubliniec–Myszków

Geological sketch of Lubliniec–Myszków MGWB

zwierciedlenie w opracowaniu modelu matematycznego systemu wodonośnego. Szczegółowa charakterystyka budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych regionu została przedstawiona w pracach publikowanych (Rókowski, Wilk, red., 1980; Rókowski, red., 1990; Rókowski i in., red., 1997; Rubin, 1997) oraz w opracowaniach archiwalnych o charakterze dokumentacyjnym (Rókowski i in., 1993; Dziuk i in., 1999; Kowalczyk i in., 1999).

W rozpoznanych wierceniach profilu geologicznym obszaru występują utwory paleozoiczne — karbonu i permu, mezozoiczne — triasu i jury oraz kenozoiczne — trzeciorzędu i czwartorzędowego (fig. 2). Podłoże paleozoiczne dla utworów triasowych stanowi utwory syluru, dewonu, karbonu i permu. Występują one na ogół na głębokości od kilkudziesięciu metrów w części południowej obszaru do ponad 450 m na północy. Na powierzchni w glanyne utwory dewonu występują w antyklinie Siewierza, w części wschodniej obszaru.

W profilu hydrogeologicznym obszaru GZWP Lubliniec–Myszków wody zwykle występują w utworach czwartorzędowego, jury, triasu i paleozoiku (głównie dewonu). Piętra wodonośne czwartorzędowego i jury mają niewielki zasięg ze względu na ograniczone rozprzestrzenienie utworów wodo-

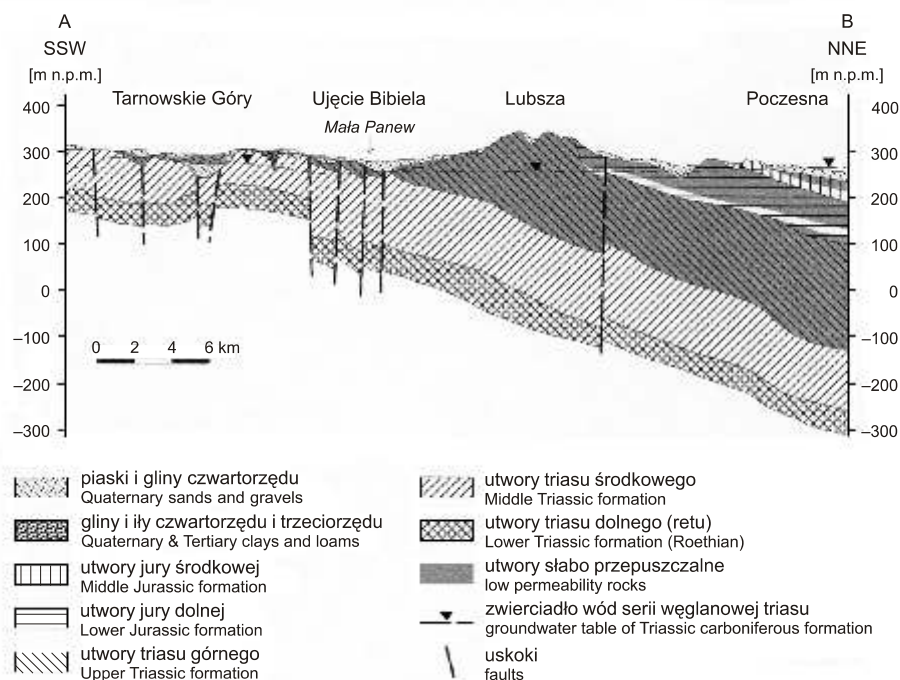


Fig. 2. Przekrój hydrogeologiczny

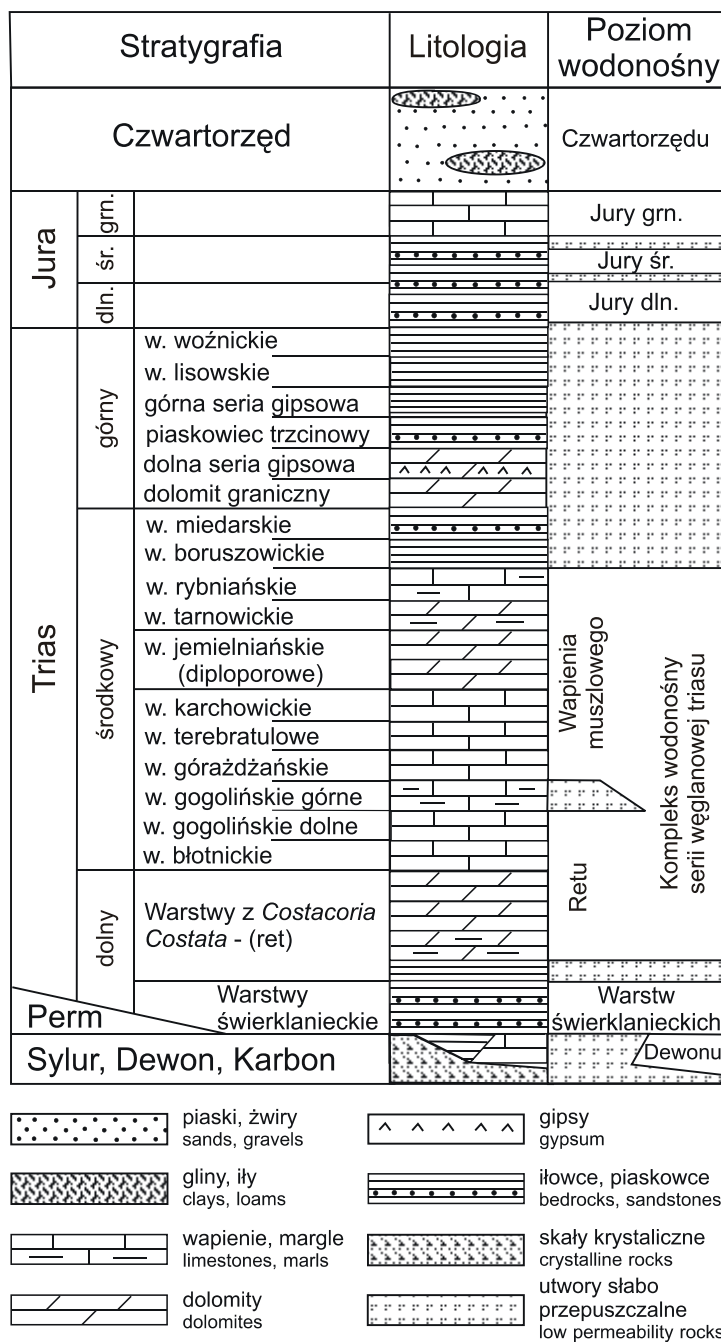
Hydrogeological cross-section

no nych. Utwory wodono ne czwartorz du w cz ci północno-wschodniej obszaru, poza dolin Warty, maj zredukowan mi szo albo w ogóle nie wyst puj i s zast powane wodono nymi utworami jury dolnej i rodkowej, lokalnie górnej oraz triasu górnego — kajpru (fig. 2). Zwierciadło wody, które na przewa aj cej cz ci obszaru ma charakter swobodny, przechodzi lokalnie w zwierciadło naporowe.

PI TRO WODONO NE TRIASU

Pi tro wodono ne triasu wyst puje na całym badanym obszarze, jednak e w oknach hydrogeologicznych (gdzie brak jest utworów izoluj cych) we wschodniej cz ci obszaru ł czy si ono z pi trem paleozoicznym, reprezentowanym przez w glanowe utwory dewonu. W profilu hydrogeologicznym pi tra wodono nego triasu w obszarze bada wyró nia si cztery poziomy wodono ne (fig. 3): retyko-kajpru (trias górný) — lokalnie, wapienia muszlowego (trias rodkowy), retu (górná cz dolnego triasu) i warstw wierklanieckich (rodkowa i dolna cz triasu dolnego).

Poziom wodono ny triasu górnego jest zwi zany z przewarstwieniami piaskowców, zlepie - ców i wapieni wo nickich wyst puj cych w obr bie mi szego kompleksu ilasto-mułowcowego (na fig. 3 nie zaznaczoney).



Podział stratygraficzny wg Kotlickiego, 1974
Stratigraphic units of Triassic according to Kotlicki, 1974

Fig. 3. Uproszczony profil hydrostratygraficzny obszaru GZWP Lubliniec–Myszków
Hydrostratigraphic profile of modeling area of Lubliniec–Myszków MGWB

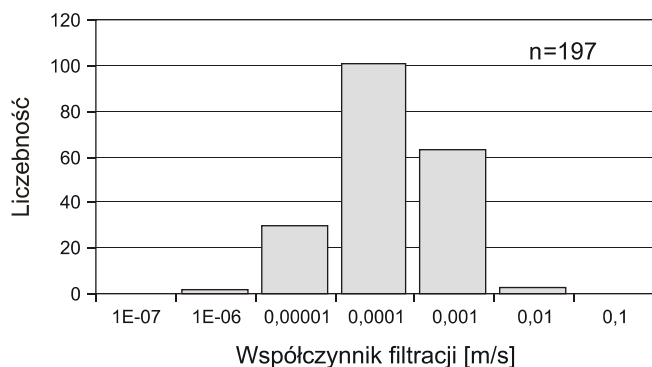


Fig. 4. Histogram współczynnika filtracji kompleksu wodono nego serii w glanowej triasu wyliczonego na podstawie próbnych pompowa

Histogram of hydraulic conductivity of Triassic carbonate formation from pumping tests

Głównym pod wzgl dem wodono no ci i znaczenia w zaopatrzeniu w wod jest kompleks wodono ny zwi zany z utworami serii w glanowej triasu. Kompleks ten, nazywany kompleksem wodono nym serii w glanowej triasu, tworzą dwa poziomy wodono ne: wapienia muszlowego i retu, pod wzgl dem hydraulicznym lokalnie połączone. W zasi gu tego kompleksu został wydzielony GZWP Lubliniec–Myszków, o powierzchni około 2100 km². Jego granice mają charakter hydrodynamiczny lub geologiczny, a w części umowny (Rókowski, red., 1990; Rókowski i in., red., 1997; Dziuk i in., 1999). Warstw pod ciełaj c skały zbiornikowe stanowi ły, margle oraz ółwce dolnego retu oraz ły wyst pują ce w stropowej części warstw wierkalnieckich. Od góry utwory zbiornikowe są przykryte łupkami ilastymi i dolomitami marglistymi warstw boruszowickich i miedarskich oraz łłami pstryimi górnego triasu (kajpru), a także lokalnie łłami jury dolnej i ıldkowej oraz glinami czwartorz du. Utwory kajpru wyst pują zwart pokryw w północnej i wschodniej części zbiornika i zajmują około 75% jego powierzchni. W południowej części obszaru utwory w glanowe wyst pują na powierzchni lub pod pokryw utworów czwartorz du.

Pod wzgl dem hydraulicznym w glanowe utwory wodono ne triasu stanowi zbiornik szczelinowo-krasowo-porowy. Rozkład współczynników filtracji utworów wodono nych, określony na podstawie próbnych pompowa studni, przedstawiono na figurze 4. Warto ci charakterystyczne tego współczynnika są nast pujące: rednia arytmetyczna $1,4 \cdot 10^{-4}$ m/s; rednia geometryczna $5,7 \cdot 10^{-5}$ m/s. Warto ci współczynnika przewodnictwa wodnego zmieniają się w zakresie od 0,325 do 144 m²/h ($9 \cdot 10^{-5}$ do $4 \cdot 10^{-2}$ m²/s). Wydajności studni są bardzo zmienne; wahają się od 24 do 600 m³/h, przy depresji 4–17,7 m, za wydajności jednostkowe zawierają się w zakresie od 0,02 do 454,5 m³/h1mS (Rubin, 1997).

Zwierciadło wody w kompleksie w glanowym triasu (fig. 5) ma charakter swobodny na wychodniach w południowej części obszaru, a na pozostałym obszarze jest napięte.

ZASILANIE I DRENA SYSTEMU WODONO NEGO

Głównym źródłem zasilania wód podziemnych rozpatrywanego wielopoziomowego systemu wodono nego jest infiltracja efektywna opadów atmosferycznych do poziomów czwartorz du, jury i triasu w glanowego, na jego wychodniach. Redni roczny wska ńnik opadu z wielolecia 1948–1992 wynosi 731 mm (Rókowski i in., 1993), a z okresu 1991–1999 — 718 mm. Drugim źródłem zasilania systemu jest infiltracja wody z rzek do poziomów czwartorz du oraz do poziomów triasu w obszarach ich wychodni. Pomiarzy przepływów chwilowych w ciekach z lat 1990–1998 w wybranych punktach na rzekach Mała Panew, Brynica, Stoła i Warta wskazują na

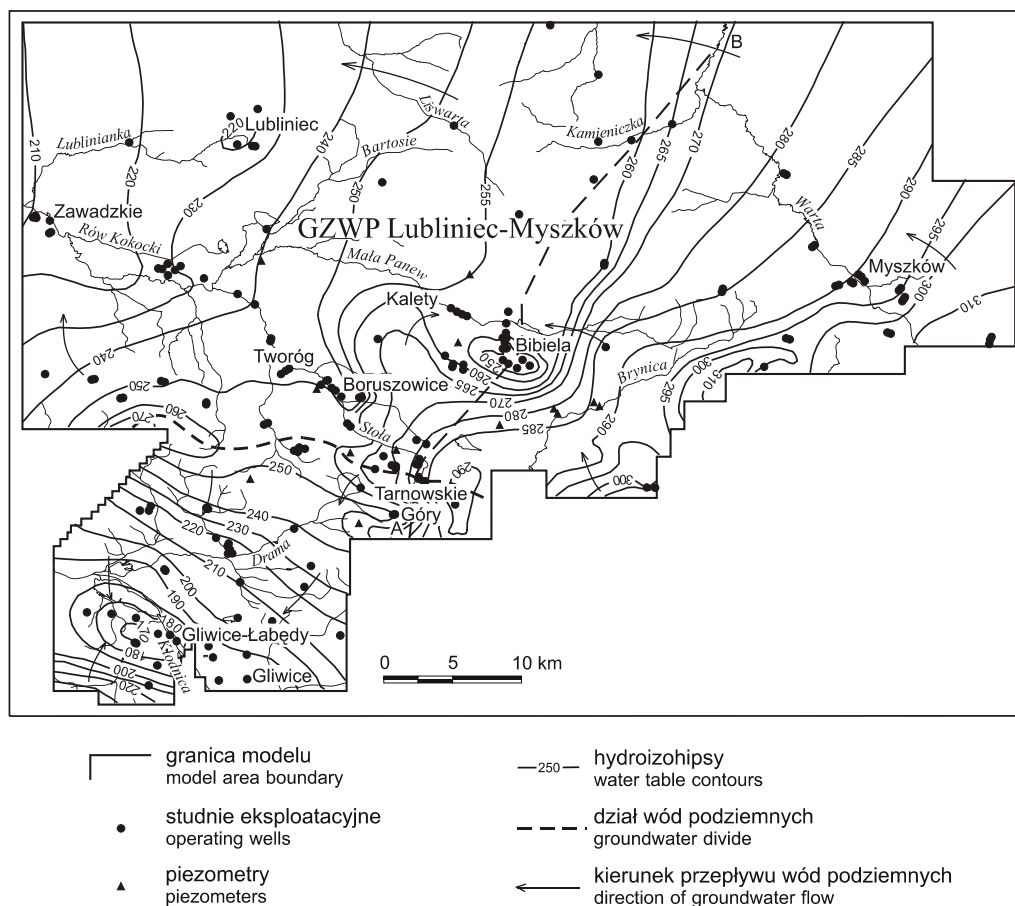


Fig. 5. Mapa hydrogeologiczna GZWP Lubliniec–Myszków

Hydrogeological map of Lubliniec–Myszków MGWB

mo liwo okresowych ucieczek wody na niektórych odcinkach tych rzek (Dziuk i in., 1999). W przypadku w glanowego kompleksu wodono nego triasu dodatkowym, znaczym źródłem zasilania jest przez czanie si wód (przy sprzyjaj cej ró nicy naporów) z przypowierzchniowych poziomów wodono nych poprzez słabo przepuszczalne utwory triasu górnego.

Drena wód podziemnych z rozpatrywanego systemu wodono nego odbywa si do rzek oraz poza granice systemu na drodze odpływu bocznego. Znaczym elementem drena u wód podziemnych jest pobór wód uj ciami studziennymi, głównie z kompleksu wodono nego triasu. Maksymalny pobór wody w latach osiemdziesi tych szacowano na ok. 60 mln m³/rok (166 tys. m³/24h), obecnie wynosi on ok. 48 mln m³/rok (133 tys. m³/24h). Pobór wody z innych poziomów wodono nych (czwartorz du i jury) nie przekracza ł cznie 5 tys. m³/24h.

Układ kr enia wód podziemnych w kompleksie wodono nym triasu przedstawiony na mapie hydrozohips (fig. 5) ma posta strumienia sphywaj cego generalnie ze wschodu na zachód i północny zachód. Jest on zdeformowany skoncentrowanym poborem wody uj ciami studzienny-

mi w części centralnej, wschodniej i zachodniej zbiornika. Aktualny poziom zwierciadła wody w kompleksie wodono nym triasu w centralnej części zbiornika jest obniżony w stosunku do naturalnego o 10–40 m w rejonach dużych ujęć (Kowalczyk i in., 1999).

NUMERYCZNY MODEL SYSTEMU WODONO NEGO GZWP LUBLINIEC–MYSZKÓW

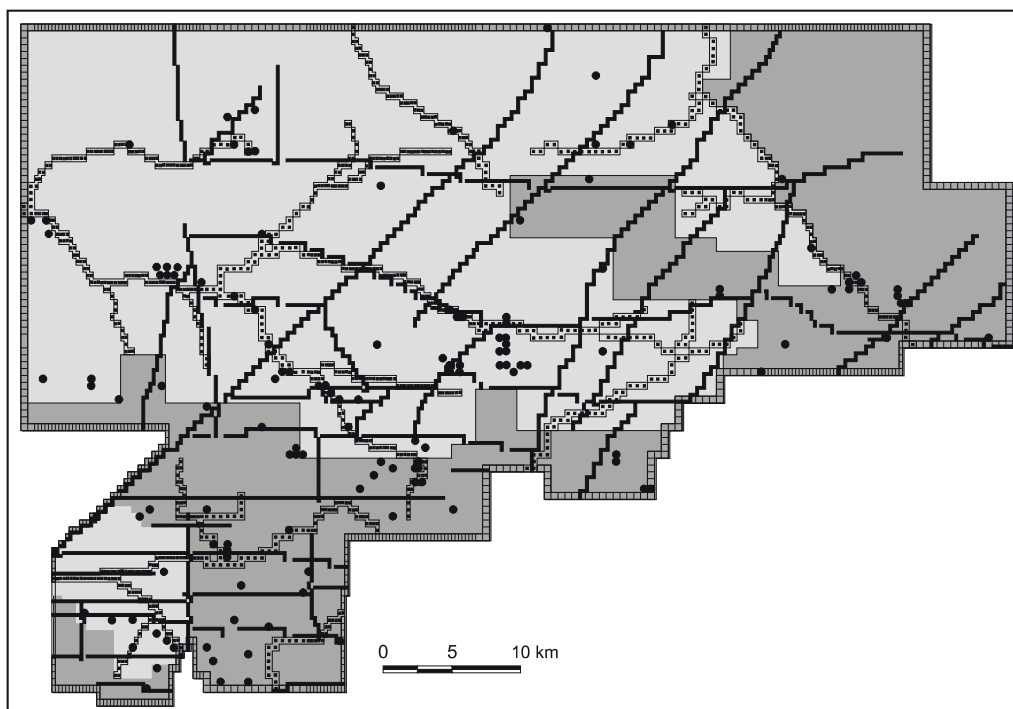
Ocenę odnawialności wód podziemnych triasowego GZWP Lubliniec–Myszków wykonano wykorzystując model numeryczny systemu wodono nego obejmujący zasięgiem dwa triasowe główne zbiorniki wód podziemnych: GZWP nr 327 Lubliniec–Myszków i sąsiadujący z nim GZWP nr 330 Gliwice (Kowalczyk i in., 1999). Całkowita powierzchnia obszaru modelu wynosi 2453,5 km², w tym powierzchnia modelu GZWP Lubliniec–Myszków — 2023,6 km². Dla rozważań bilansowych GZWP Lubliniec–Myszków wydzielono jako odrębny obszar bilansowy. Dwa zbiorniki triasowe oddziela dział wód podziemnych, którego położenie jest uzależnione od wielkości poboru wód przez ujęcia studzienne i jest zmienne w czasie (Kropka, 1999). Objeści modelem obydwu zbiorników umożliwiło prawidłowe odwzorowanie przebiegu działania wód podziemnych i uwzględnienie oddziaływań wywołanych symulowanymi wymuszeniami eksploatacyjnymi. Konstrukcja modelu dla całego obszaru obejmującego obydwa GZWP jest przedstawiona szczegółowo w pracy Kowalczyka i in. (1999).

OPIS MODELU

W celu rozwiązania zadania zbudowano pseudotrójwymiarowy model systemu wodono nego, składający się z trzech warstw. Dwie warstwy reprezentują poziomy wodono ne: przypowierzchniowy w utworach czwartorzędowy i jury, o zwierciadle swobodnym i napięty, oraz wgłębny, o zwierciadle napięty, w utworach węglańskich triasu. Trzecia warstwa modelu reprezentuje kompleks utworów słabo przepuszczalnych triasu górnego i ewentualnie glin czwartorzędowych, rozdzielający odwzorowane poziomy wodono ne. Warstwa pierwsza, przedstawiająca przypowierzchniowy poziom wodono ny została odwzorowana na części obszaru modelu; w zasięgu GZWP Lubliniec–Myszków jej powierzchnia wynosi 1430,4 km².

Obszar modelu został podzielony na bloki obliczeniowe o zmiennym kroku: 500 i 250 m. Warunki brzegowe modelu przedstawia figura 6. Warunkiem III rodzaju, symulującym przepływ wody w zależności od wysokości hydraulicznej, zostały odwzorowane granice boczne modelu poszczególnych warstw, przebiegające wzdłuż działów wód podziemnych, linii prądu lub umowne, oraz w kształcie rzeki. Warunkiem II rodzaju, z określonym przepływem, odwzorowano obszary bezpośredniego zasilania warstw z infiltracji opadów atmosferycznych oraz pobór wody studniami. Granicę dolną modelu odwzorowano jako granicę nieprzepuszczalną. Wykorzystując możliwości programu symulacyjnego na modelu odwzorowano również główne uskoki, jako bariery słabo przepuszczalne dla przepływu wód podziemnych.

Parametry hydrogeologiczne odwzorowanych warstw modelu przyjęto na podstawie dostępnych wyników badań terenowych oraz rozpoznania litologii utworów wodono nych i słabo przepuszczalnych (Rókoszowski i in., 1993; Kowalczyk, Rubin, 1995; Rókoszowski i in., red., 1997; Dziuk i in., 1999). Wielkość zasilania systemu wodono nego z infiltracji opadów atmosferycznych ustalono wstępnie w zakresie od 5 do 30% średniego rocznego wskaźnika opadów.









- | | |
|---|---|
|  obszar modelu – warstwa I
model area – layer I |  bloki brzegowe z warunkiem III rodzaju
bondary with Head-Depend-Flux |
|  obszar modelu – warstwa II
model area – layer II |  bloki z rzeką
river cells |
|  studnie eksploatacyjne
operating wells |  bloki z uskokami
horizontal flow barriers (faults) |

Fig. 6. Obszar modelu i warunki brzegowe

Model area and boundary conditions

Tabela 1

Główne parametry modelu GZWP Lubliniec–Myszków

Main model parameters of Lubliniec–Myszków MGWB

Główne parametry modelu	Warstwa I	Warstwa II
Współczynnik filtracji [m/d]	0,1 – 50,0	1,0 – 50,0
Wskaźnik zasilania z infiltracji opadów [mm/rok]	77 – 219	10 – 219
Parametr przesączania [1/d]	10^{-9} – 10^{-3}	
Współczynnik przewodnictwa wodnego koryt rzek [m ² /d]	20 – 2000	20 – 400
Opór hydrauliczny barier uskokowych [1/d]		$1 \cdot 10^{-4}$ – $6 \cdot 10^{-1}$

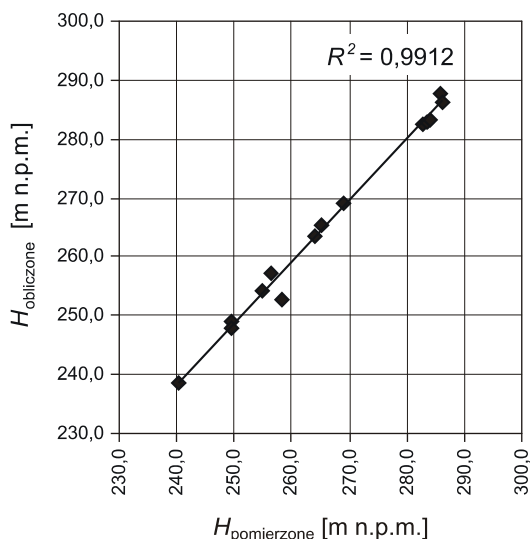


Fig. 7. Porównanie pomierzonego zwierciadła wody w piezometrach i wartości wyliczonych w blokach modelu

Relation between measured hydraulic heads and computed heads

W celu odtworzenia położenia zwierciadła wody, przedstawionego na podstawie pomiarów terenowych na mapie hydroizohips (fig. 5), wykonano kalibrację modelu. Polegało to na wprowadzeniu zmian w rozkładzie i wielkościach wprowadzonych parametrów hydrogeologicznych, w szczególności współczynnika filtracji i wysokości zasilania z infiltracji opadów atmosferycznych, a także parametru przesączania warstwy rozdzielającej warstwy wodonośnej, przewodności koryt rzecznych oraz oporu hydraulicznego barier symulujących uskoki. Główne parametry modelu uzyskane w wyniku kalibracji zestawiono w tabeli 1.

Ocena prawidłowości kalibracji modelu polegała na porównaniu stanów zwierciadła wody obliczonych na modelu z pomierzonymi w 14 piezometrach (fig. 7) oraz na porównaniu kształtu powierzchni zwierciadła wody z map hydroizohips skonstruowanych na podstawie pomiarów terenowych i obliczeń na modelu. Wartość bezwzględnej odchylenia zwierciadła obliczonego od pomierzonego dla warstwy drugiej modelu wynosi 1,34 m. Uzyskane wyniki, w tym także bilans wód podziemnych (tab. 2), pozwalają stwierdzić, że dokładnie odwzorowania systemu rzeczywistego w pełni koresponduje z rozpoznany stan warunków hydrogeologicznych analizowanego systemu wodonośnego.

W ramach badań modelowych wykonano dwie symulacje przepływu wody w systemie: dla aktualnego stanu warunków hydrodynamicznych oraz dla stanu pseudonaturalnego, bez poboru wody (tab. 2).

W bilansie stanu aktualnego modelu warstwy pierwszej całkowite zasilanie wynosi 524 320 m³/d (134 mm/rok), co odpowiada modułowi 4,24 dm³/skm². Zasilanie z infiltracji efektywnej jest dominującym źródłem zasilania i wynosi 3,16 dm³/skm² (100 mm/rok); stanowi to 13,6% opadu rocznego z wielolecia (731 mm/rok). Po stronie drenażu warstwy pierwszej dominuje odpływ podziemny do rzek. W obszarze modelu tej warstwy wynosi on 2,7 dm³/skm² (85 mm/rok). Stanowi to około 86% zasilania z infiltracji efektywnej i 63,5% całkowitego zasilania tej warstwy. Drugim istotnym elementem, stanowiącym 23,6% drenażu warstwy pierwszej modelu, jest przesączanie siły wody do warstwy drugiej.

W bilansie modelu warstwy drugiej całkowite zasilanie z czterech zidentyfikowanych na modelu źródeł wynosi 217 031 m³/d i odpowiada to średniemu modułowi 1,24 dm³/skm² (39 mm/rok). Dominujący udział w tej wartości ma przesączanie siły wody z warstwy pierwszej. Jego wartość wykazana w bilansie modelu — 120 937 m³/d (tab. 2) jest powiększona o symulowa-

WYNIKI SYMULACJI

Tabela 2

Bilans wód podziemnych w systemie GZWP Lubliniec–Myszków wg badań modelowych
 Components of the Lubliniec–Myszków aquifer groundwater balance determined by modelling

Poziom wodonośny	Składniki bilansu		Stan w 1998 r.		Stan pseudonaturalny	
			[m ³ /d]	[%]	[m ³ /d]	[%]
Czwartorzęd Warstwa I A _I = 1430,4 km ²	Zasilanie	infiltracja opadów atmosferycznych	390 128	74,4	390 128	74,3
		infiltracja wody z rzek	30 141	5,7	17 797	3,4
		przesączanie z warstwy II	19 109	3,7	43 239	8,2
		dopływ boczny	84 946	16,2	73 857	14,1
		razem	524 324	100	525 021	100
	Drenaż	odpływ boczny	64 966	12,4	71 529	13,6
		pobór studniami	2 675	0,5	0	0,0
		drenaż do rzek	333 243	63,5	407 650	77,7
		przesączanie do warstwy II	123 535	23,6	45 841	8,7
		razem	524 419	100	525 020	100
Kompleks wodonośny triasu Warstwa II A _{II} = 2023,6 km ²	Zasilanie	infiltracja opadów i przesączanie	64 858	29,9	64 595	45,4
		infiltracja z rzek poza granicami modelu warstwy I	4 279	2,0	3 296	2,3
		przesączanie z warstwy I	120 937	55,7	45 624	32,1
		dopływ boczny	26 957	12,4	28 710	20,2
		razem	217 031	100	142 225	100
	Drenaż	pobór studniami	133 569	61,5	0	0,0
		odpływ boczny	62 310	28,7	90 802	63,8
		przesączanie do warstwy I	19 109	8,8	43 089	30,3
		odpływ do rzek	2 042	1,0	8 335	5,9
		razem	216 345	100	142 226	100

ne we wschodniej części obszaru, poza modelem warstwy pierwszej (w rejonie 4 według fig. 8), zasilanie bezpośrednio na warstwę drugą, wynoszące 16 142 m³/d (tab. 4), do łącznej wartości 137 079 m³/d. Jest to podyktowane faktem, że w tej części obszaru modelu zasilanie kompleksu w górnego triasu odbywa się wskutek przesączania się wody poprzez kompleks utworów słabo przepuszczalnych, a ze względu na brak odwzorowania na modelu warstwy pierwszej w tym obszarze zasilanie to symulowano jako bezpośrednio zasilanie warstwy drugiej. Zasilanie z infiltracji efektywnej ma miejsce na wychodniach kompleksu w górnego triasu o powierzchni 115 km² i wynosi, po uwzględnieniu powyższej korekty, 48 716 m³/d. Udział infiltracji wody z rzek w obszarze wychodni jest znikomy i stanowi 2%, a zasilanie z dopływu bocznego, spoza obszaru modelu — 12,4% zasilania całkowitego.

Głównym składnikiem drenażu wód warstwy drugiej jest pobór ujęciami studziennymi (61%), który wynosi 0,76 dm³/skm² (24 mm/rok). 28% stanowi odpływ boczny, a około 9% wód zasila warstwę pierwszą.

Wykonana symulacja przepływu wód bez eksploatacji ujęć miała na celu dostarczenie informacji o układzie kręcenia wód w warunkach zbliżonych do pierwotnych i o modyfikacjach

w strukturze bilansu wywołanych poborem wody. W wyniku tej symulacji ustalono, że wartość zasilania całkowitego zbiornika triasowego wynosi około 142 tys. m³/d (26 mm/rok), a udział przez czanie się wód z warstwy pierwszej w ogólnym zasilaniu stanowi 32%.

Z porównania wyników bilansu dla obydwu stanów hydrodynamicznych (tab. 2) wynika, że źródła zasilania obecnie pozostają takie same jak w warunkach bez poboru wody, jednak zmieniają się wartości poszczególnych elementów składowych bilansu i wzrasta o około 50% ogólna wartość zasilania systemu.

ODNAWIALNOŚĆ WÓD PODZIEMNYCH TRIASOWEGO KOMPLEKSU WODONOŚNEGO GZWP LUBLINIEC–MYSZKÓW

Z przedstawionego bilansu kręcenia wód podziemnych modelowanego systemu wodonośnego wynika, że głównymi źródłami odnawiania się zasobów wód podziemnych triasowego GZWP Lubliniec–Myszków są: przez czanie się wód z płytkich poziomów wodonośnych, infiltracja efektywna opadów atmosferycznych na wychodniach utworów węglańskich triasu oraz dopływ boczny spoza zbiornika (tab. 3). Udział infiltracji wody z rzek w obszarze wychodni jest pomijalnie mały w skali zbiornika.

Całkowite zasilanie zbiornika triasowego wynosi w obecnych warunkach hydrodynamicznych 39 mm/rok (1,24 dm³/skm²) i jest o 50% wyższe od zasilania symulowanego dla stanu warunków naturalnych, które wynosi 26 mm/rok (0,81 dm³/skm²). Wartości te są porównywalne z modułem odnawialności wód podziemnych poziomów mezozoicznych analizowanego obszaru, ustalonym przez J. Mitręg (1994). Według tego autora moduł ten waha się od 0,23 do 1,15 dm³/skm².

Struktura zasilania triasowego GZWP jest ukształtowana przez intensywny pobór wody z węglanowego kompleksu triasu. Udział przez czania się wody z wyżej leżącego poziomu wodonośnego wynosi 63%, a jego wartość w stosunku do powierzchni GZWP wynosi 25 mm/rok. Zasilanie z

Tabela 3

źródła zasilania triasowego GZWP Lubliniec–Myszków

Sources of recharge of the Lubliniec–Myszków Triassic MGWB

Składniki zasilania	Powierzchnia obszaru [km ²]	Zasilanie			
		[m ³ /d]	[%]	[mm/rok]	[mm/rok]*
Infiltracja opadów atmosferycznych na wychodniach	115	48 916	22,6	155	8
Przez czanie pionowe w dół przez utwory słabo przepuszczalne triasu górnego i czwartorzędowego	1610	137 079	63,0	31	25
Infiltracja z rzek na wychodniach		4 279	2,0	–	1
Dopływ boczny		26 957	12,4	5	5
Obszar modelu	2023,6	217 031	100	39	39

* wartości odnoszą się do całej powierzchni modelu
values concern to whole model area

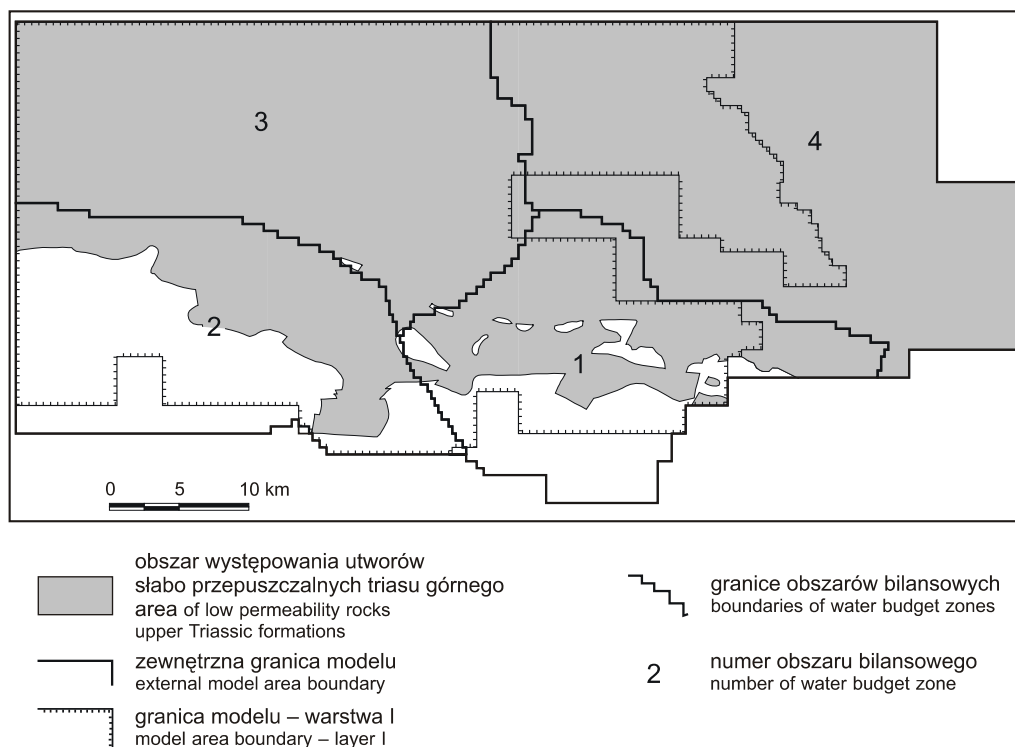


Fig. 8. Rejony bilansowania wód podziemnych w GZWP Lubliniec–Myszków

Water budget zones in Lubliniec–Myszków MGWB hydraulic system

infiltracji efektywnej, na wychodniach utworów w górnym triasie, wynosi 8 mm/rok w stosunku do powierzchni GZWP i stanowi 22,6% zasilania całkowitego. Udział dopływu bocznego wynosi 5 mm/rok i stanowi 12,4%, a infiltracja z rzek — 1 mm/rok.

Wymuszone eksploatacją wód zwi kszone zasilanie kompleksu wodono nego triasu o 13 mm/rok ma swoje źródła w zwi kszonego przepływu wód z poziomów przypowierzchniowych, w zwi kszeniu dopływu i ograniczeniu odpływu bocznego oraz w ograniczeniu podziemnego odpływu do rzek i zwi kszonej infiltracji wody z rzek.

Wzrost przepływu pionowego wody wynosi w skali zbiornika wynosi ok. 75 000 m³/d (16,5 mm/rok). Wzrost ten jest pokrywany ze zmniejszonego drenażu wód do rzek, przede wszystkim w poziomie przypowierzchniowym o 0,6 dm³/skm², od wartości 3,3 dm³/skm² (104 mm/rok) do 2,7 dm³/skm² (85 mm/rok). Równocześnie nie wzrasta infiltracja wody z rzek i maleje odpływ boczny poza system wodono ny.

Przeszczanie się wód z przypowierzchniowych poziomów wodono nych

Zasilanie pionowe kompleksu wodono nego triasu na drodze przepływu wód poprzez utwory słabo przepuszczalne jest uwarunkowane intensywnością eksploatacji wód oraz stopniem przykrycia tego kompleksu, zależnym od miłośności i przepuszczalności tych utworów.

Tabela 4

**Składniki bilansu wód podziemnych GZWP Lubliniec–Myszków (kompleks wodono ny triasu)
w rozbiciu na rejony bilansowe; wynik symulacji**

Components of water budget of the Lubliniec–Myszków MGWB (Triassic carboniferous formation)
in each water budget zones, result of symulation

Składniki bilansu	Rejony bilansowe				Cały obszar modelu GZWP A = 2023,6 km ²
	1 A ₁ = 364,6 km ²	2 A ₂ = 425 km ²	3 A ₃ = 576 km ²	4 A ₄ = 656 km ²	
	[m ³ /d] / [mm/rok]				
Zasilanie:					
– infiltracja opadów	22 391	26 325	0	0	48 716
– infiltracja z rzek	0	0	0	4 279	4 279
– przez czanie z warstwy I	70 658 / 69	37 527 / 31	13 064/ 8,3	15 830/ 8,7	137 079
– dopływ boczny					26 957
Razem					217 031
Drena :					
– pobór studniami	83 460	29 768	3 594	16 747	133 569
– odpływ do rzek	1 919	0		123	2 042
– odpływ boczny					62 310
– przez czanie do warstwy I	162	15 638	3 309	0	19 109
Razem					216 345

W celu oceny intensywności i źródła podziemia przestrzennego przez czanie pionowego wody poprzez kompleks utworów słabo przepuszczalnych dokonano podziału obszaru modelu na cztery rejony bilansowe (fig. 8). Podział ten nie jest oparty na jednolitych kryteriach przyrodniczych, jednak odzwierciedla źródła podziemia intensywności poboru wody i stopnia przykrycia utworami słabo przepuszczalnymi. Rejony pierwszy i drugi są najintensywniej eksploatowane, a równocześnie najslabiej izolowane od powierzchni. Pozostałe dwa rejony są izolowane na całej swej powierzchni tym samym kompleksem utworów słabo przepuszczalnych kajpru. Dla wydzielonych rejonów zestawiono główne składniki bilansu wód podziemnych (tab. 4).

Z analizy tego bilansu wynika, że intensywny pobór wód podziemnych w rejonach pierwszym i drugim, położonych w południowej części obszaru, jest zasilany w znacznej mierze wodami przez czanie z poziomów przypowierzchniowych z intensywności 31–69 mm/rok. W rejonach trzecim i czwartym, dobrze izolowanych od powierzchni i o niskim poborze wody, intensywność przez czanie jest znacznie mniejsza i nie przekracza średnio 10 mm/rok.

W skali całego zbiornika triasowego zasilanie z przez czanie ma miejsce na obszarze o powierzchni 1610 km², zakrytym słabo przepuszczalnymi utworami triasu górnego i czwartorzędowego. Intensywność tego przez czanie wynosi 31 mm/rok, a w rejonie zakrytym wyłącznie utworami triasu górnego (o powierzchni 1463 km²) — 27 mm/rok.

Tak wysoka intensywność przez czanie sił wód do kompleksu wodonoznego triasu jest uwarunkowana różnicami naporów pomiędzy dwoma odwzorowanymi na modelu poziomami wodononymi (wysokość średnio 10 m) oraz przepuszczalnością utworów słabo przepuszczalnych

warstwy rozdzielajcej. Przyjmując różnicę naporów oraz średni miąższość utworów słabo przepuszczalnych triasu górnego $m' = 170$ m i intensywność przesączania 27 mm/rok, otrzymamy współczynnik filtracji utworów rozdzielających $k' = 1,4 \cdot 10^{-8}$ m/s.

Średni czas przesączania się wody poprzez ilaste utwory triasu górnego o średniej miąższości 170 m, z intensywności 27 mm/rok wynosi ponad 6000 lat. Biorąc pod uwagę fakt, że w obszarze o największych miąższościach (ponad 250 m) intensywność przesączania jest minimalna ($5\text{--}9$ mm/rok), to obliczony czas przesączania przekracza 30 tys. lat. Wyniki te korespondują z wynikami badań izotopów rodowiskowych (Rókowski, 1993) i gazów szlachetnych (Zuber i in., 1999) w wodach analizowanego zbiornika. Według tych badań w zbiorniku triasowym występują zarówno wody współczesne, zawierające tryt, jak również wody holoceny i wody glacialne.

PODSUMOWANIE

W celu rozpoznania rodzaju i oceny wielkości zasilania wód podziemnych kompleksu wodonoznego triasu w obszarze GZWP Lubliniec–Myszków zbudowano wielowarstwowy model numeryczny systemu wodonoznego. Model ten składa się z dwóch warstw odwzorowanych poziomych wodonożnych czwartorzędowej jury jako poziom przypowierzchniowy (warstwa pierwsza) i kompleksu wodonożnych utworów w górnym triasie (warstwa druga) oraz warstwy rozdzielającej, reprezentującej kompleks utworów słabo przepuszczalnych triasu górnego, jury i czwartorzędowej.

Wykonane badania umożliwiły rozpoznanie schematu kręcenia wód w wielowarstwowym systemie wodonożnym GZWP Lubliniec–Myszków oraz identyfikację ilości ocen rodzaju jego zasilania w warunkach hydrodynamicznych ukształtowanych eksploatacji wód. Długotrwała eksploatacja wód spowodowała istotne modyfikacje w bilansie wód podziemnych systemu. Zmiany te dotyczą przede wszystkim wzajemnych powiązań między poszczególnymi poziomami wodonożnymi oraz relacji systemu wodonożnego z otoczeniem.

Na podstawie schematu kręcenia i bilansu wód podziemnych całego systemu wodonożnego dokonano oceny odnawialności wód podziemnych triasowego GZWP Lubliniec–Myszków. Całkowite zasilanie zbiornika wynosi obecnie 39 mm/rok ($1,24$ dm³/skm²) i jest większe o 50% od symulowanego zasilania w warunkach zbliżonych do naturalnego, wynoszącego 26 mm/rok ($0,81$ dm³/skm²). Dominującym rodzajem zasilania, decydującym o odnawianiu się zasobów zbiornika triasowego, jest pionowe przesączanie się wód z przypowierzchniowych poziomów wodonożnych. Udział tego składnika wynosi obecnie 63% , podczas gdy udział infiltracji efektywnej szacuje się na około 23% , a dopływu bocznego na 12% . Intensywność tego przesączania jest zróżnicowana w obszarze zbiornika w zależności od intensywności poboru wody i przepuszczalności utworów słabo przepuszczalnych: od 69 mm/rok w południowej części zbiornika, w rejonie najintensywniej eksploatowanym, do wartości minimalnych, poniżej 9 mm/rok, w północnej części obszaru, podczas gdy wartość średnia wynosi 31 mm/rok.

Źródłem wzmoczonego zasilania wód zbiornika triasowego z przesączania pionowego jest ograniczenie zasilania podziemnego rzek, głównie z poziomu czwartorzędowego, od 104 mm/rok ($3,3$ dm³/skm²) do 85 mm/rok ($2,7$ dm³/skm²) oraz ograniczenie odpływu bocznego z systemu wodonożnego i wzrost infiltracji wody z rzek.

LITERATURA

- CASTANY G., 1982 — Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod Université. Bordas, Paris.
- DZIUK M., SIWY-B DKOWSKA K., B DKOWSKI Z., KOWALCZYK A., RUBIN K., LEWANDOWSKI J., 1999 — Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych z utworów serii w górnym triasie w rejonie Lubliniec–Myszków wg projektu: Określenie zasad eksploatacji zasobów wód podziemnych z utworów triasu w północnej części Górnej Silesii. Arch. Górniczo-Geologicznej Urzędu Wojewódzkiego, Katowice.
- JOHNSTON R.H., 1997 — Sources of water supplying pumpage from regional aquifer systems of the United States. *Hydrogeol. J.*, **5**, 2: 54–63.
- KOTLICKI S., 1974 — Stratigraphic position of the Triassic Sediments in the Upper Silesian region. *Bull. Acad. Pol. Sc. Sér. Sc. Terre*, **22**, 3/4: 161–166.
- KOWALCZYK A., RUBIN K., 1995 — Skutki skupionej eksploatacji wód podziemnych ujęciem Bibiela w wietle badań modelowych. W: Współczesne problemy hydrogeologii. T. 7, cz.1: 227–234. Wyd. Profil, Kraków.
- KOWALCZYK A., RUBIN K., TREICHEL W., GRABALA D., WOJTAL G., WRÓBEL J., 1999 — Badania modelowe dla oceny zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych GZWP Lubliniec–Myszków. Arch. ZBU „Intergeo” Sp. z o.o., Sosnowiec.
- KROPKA J., 1999 — Hydrodynamiczne, hydrochemiczne i ekonomiczno-techniczne aspekty przeeksplotowania triasowego zbiornika Gliwice (GZWP nr 330, trias Górno-krakowski). Projekt badawczy KBN. Arch. KHiGI U 1., Sosnowiec.
- MACIOSZCZYK T., KAZIMIERSKI B., 1990 — Zasady budowania modeli systemów hydrogeologicznych dla oceny zasobów dyspozycyjnych i symulacji regionalnego ich zagospodarowania. Publ. CPBP 04.10, z. 53. Wyd. SGGW-AR, Warszawa.
- MADDOCK III T., VIONNET L.B., 1998 — Groundwater capture processes under a seasonal variation in natural recharge and discharge. *Hydrogeol. J.*, **6**, 1: 24–32.
- MITR GAJ., 1994 — Mapa zasobów wód podziemnych, 1:500 000. W: B. Paczyński (red.), Atlas hydrogeologiczny Polski 1:500 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- RÓKOWSKI A. (red.), 1990 — Szczelinowo-krasowe zbiorniki wód podziemnych monokliny Górno-krakowskiej i problemy ich ochrony. Publ. CPBP 04.10, z. 57. Wyd. SGGW-AR, Warszawa.
- RÓKOWSKI A., 1993 — Periglacial waters within the Muschelkalk aquifer in southern Poland. *Kras i Speleol. U 1.*, **7**, 16: 23–30.
- RÓKOWSKI A., CHMURA A., SIEMIŃSKI A. (red.), 1997 — Ujętkowe wody podziemne Górno-krakowskiej Zagłębia Wągliwego i jego obrzeżenia. *Pr. Inst. Geol.*, **159**: 152ss.
- RÓKOWSKI A., KOWALCZYK A., RUBIN K., 1993 — Określenie wpływu i skutków eksploatacji wód ujęcia Bibiela na inne ujęcia wód podziemnych. Arch. ZBU „Intergeo” Sp. z o.o., Sosnowiec.
- RÓKOWSKI A., WILK Z. (red.), 1980 — Warunki hydrogeologiczne złóż rud cynku i ołowiu regionu Górno-krakowskiego. *Pr. Inst. Geol.*, **310**.
- RUBIN K., 1997 — Charakterystyka hydrogeologiczna ujętkowych poziomów wodonośnych. Poziomy wodonośny triasu; GZWP Lubliniec–Myszków. W: Ujętkowe wody podziemne Górno-krakowskiej Zagłębia Wągliwego i jego obrzeżenia. *Pr. Inst. Geol.*, **159**: 35–38.
- ZUBER A., KOWALCZYK A., OSENBRÜCK K., RÓKOWSKI A., WEISE S.M., GRABCZAK J., RUBIN K., 1999 — A conceptual model of a confined aquifer deduced from environmental tracer data. Arch. KHiGI U 1., Sosnowiec.