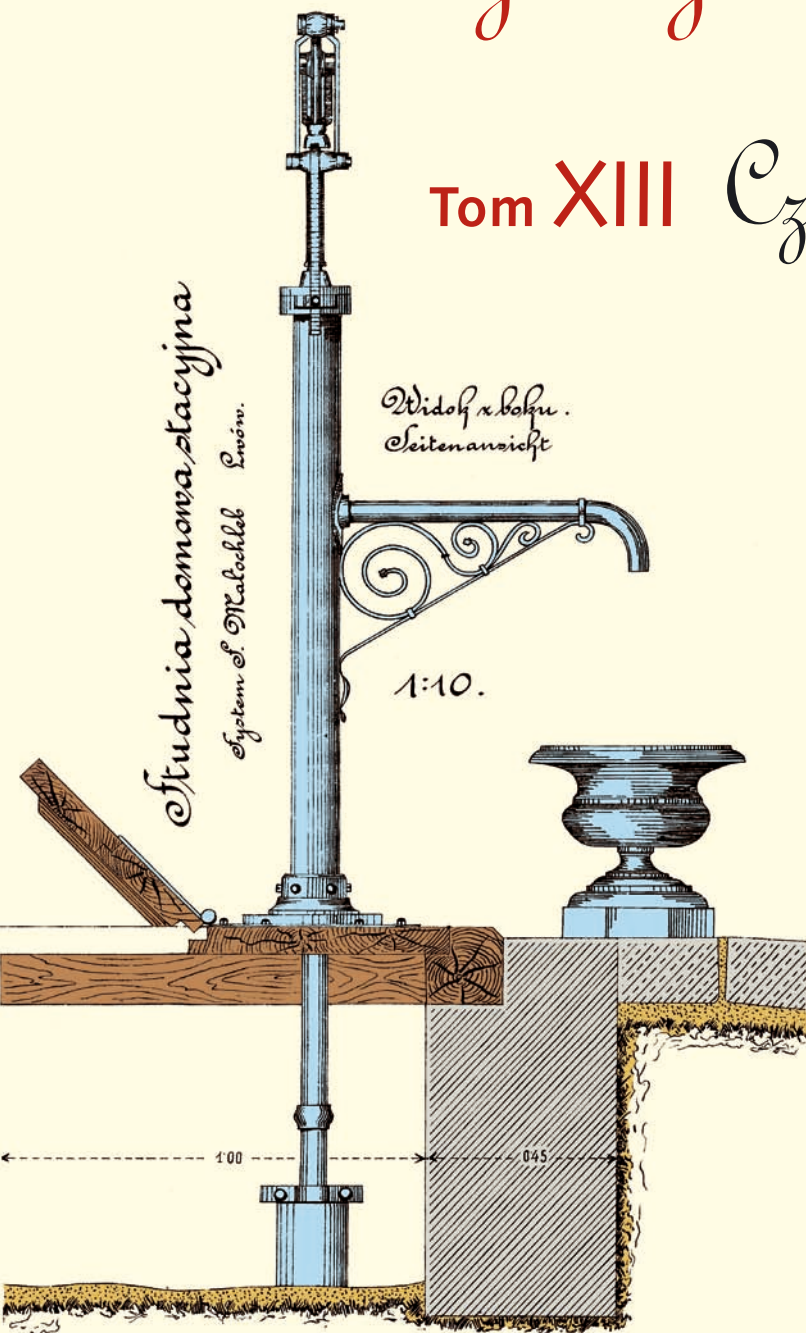


# Współczesne problemy hydrogeologii

Tom XIII Część 3.





Wydanie publikacji zostało sfinansowane przez  
Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej

Recenzenci:

Jadwiga Szczepańska  
Wojciech Ciężkowski  
Józef Górski  
Andrzej Kowalczyk  
Ewa Krogulec  
Grzegorz Malina  
Jerzy Małecki  
Marek Marciniak  
Jacek Motyka  
Marek Nawalany  
Jan Przybyłek  
Andrzej Rózkowski  
Andrzej Sadurski  
Andrzej Szczepański  
Stanisław Staško  
Stanisław Witczak  
Andrzej Zuber

Redakcja: Andrzej Szczepański, Ewa Kmiecik, Anna Żurek

Teksty artykułów w częściach 2. i 3. zostały wydrukowane z wersji elektronicznej dostarczonej przez Autorów, metodą bezpośredniej reprodukcji (*camera ready*)

Projekt okładki i stron tytułowych: Andrzej Tomaszewski

Na okładce: fragment projektu studni miejskiej we Lwowie z 1906 roku  
— ze zbiorów prof. **Antoniego S. Kleczkowskiego** (1922–2006)

Korekta: Zespół

Skład komputerowy systemem  $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ : pre $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ t, [www.pretext.com.pl](http://www.pretext.com.pl)

Druk: ROMA-POL, [www.romapol.pl](http://www.romapol.pl)

ISBN-13 978-83-88927-16-4

Arkadiusz Krawiec, Lech Śmietański

## **System krążenia wód podziemnych na Pojezierzu Drawskim**

### **Groundwater Flow System in Drawsko Lakeland**

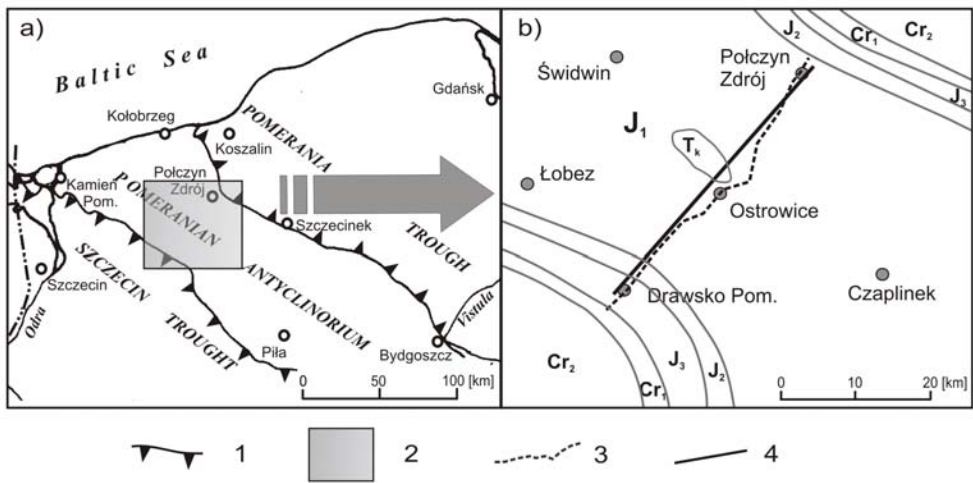
**Słowa kluczowe** system krążenia wód, skład izotopowy, ujęcia wód podziemnych

**Key words** groundwater flow system, isotopic composition, groundwater intakes

**Abstract** The paper presents results of hydrogeological studies to define the groundwater flow system in Drawsko Lakeland in Pomerania in Northern Poland. Two methods were applied to define the system: isotope analysis of groundwater samples collected from hydrogeological boreholes and mathematical modeling. The modeling allowed to assess the extent of the groundwater flow system as well as groundwater travel times using the path-way analysis. These results were confirmed by the outcome of the isotope investigations.

## Wstęp

W pracy omówiono system krążenia wód podziemnych w centralnej części antyklinorium pomorskiego na Pojezierzu Drawskim (rys. 1). Teren badań znajduje się w strefie wododziałowej pomiędzy zlewniami Regi, Drawy i Parsęty. Na rozpatrywanym obszarze średnia roczna suma opadów z wielolecia wynosi około 660 mm, a wysokość średniego rocznego parowania terenowego przekracza 480 mm, co pozwala oszacować średni dla wielolecia wskaźnik zasilania wód podziemnych na około 180 mm/rok (Krawiec, 2002). W ramach przedstawianych badań wykonany został model systemu krążenia wód podziemnych na przekroju hydrogeologicznym pomiędzy Drawskiem Pomorskim a Połczynem Zdrój. Do obliczeń wykorzystano pakiet programowy Visual MODFLOW wersja 2.8.2 (2000). W trakcie prac terenowych z ujęć wód podziemnych w Połczynie Zdroju pobrane zostały próbki wody do oznaczeń izotopowych i analiz chemicznych. Wyniki modelowania przepływu wód podziemnych potwierdzone zostały w znacznym stopniu wynikami oznaczeń izotopowych z ujęcia Połczyn 2 (Krawiec, Dulski, 2004).



**Rysunek 1.** Lokalizacja obszaru badań na tle jednostek strukturalnych NW Polski (a) oraz lokalizacja przekrojów na tle geologicznej mapy Polski bez utworów kenozoiku wg. Dadleza, Marka i Pokorskiego, 2000 (b). Objasnienia: 1 - granice antyklinorium pomorskiego; 2 - obszar badań; 3 - linia przekroju hydrogeologicznego (rys. 2); 4 - linia przekroju - model (rys. 3); Stratygrafia: Cr<sub>2</sub> - kreda górna, Cr<sub>1</sub> - kreda dolna, J<sub>3</sub> - jura górna, J<sub>2</sub> - jura środkowa, J<sub>1</sub> - jura dolna, T<sub>k</sub> - trias - kajper

**Figure 1.** Location of the study area with the NW Poland structural units in the background (a) and location of the cross-sections with the layout of the pre-Cainozoic system in the background after Dadlez, Marek and Pokorski, 2000 (b). Explanation: 1 - conventional boundary of the Pomeranian Anticlinorium - subcrop of the Upper Cretaceous base; 2 - study area; 3 - hydrogeological cross-section, shown in fig. 2; 4 - geological cross-section (model), shown in fig. 3; Stratigraphy: Cr<sub>2</sub> - Upper Cretaceous, Cr<sub>1</sub> - Lower Cretaceous, J<sub>3</sub> - Upper Jurassic, J<sub>2</sub> - Middle Jurassic, J<sub>1</sub> - Lower Jurassic, T<sub>k</sub> - Triassic-Keuper

## Budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne badanego obszaru

Badany obszar znajduje się w centralnej części antyklinorium pomorskiego (rys. 1a), w strefie antykliny Świdwina. Na powierzchni podkenozoicznej w strefie osiowej obszaru badań występują najstarsze skały należące do liasu dolnego i najwyższego triasu (rys. 1b). Rzędne terenu na obszarze badań wynoszą tu od 70 do ponad 200 m n.p.m. Obszar ten leży w zasięgu moren czołowych zlodowacenia wisły. Na powierzchni terenu występują głównie gliny zwałowe i piaski fluwioglacjalne tego zlodowacenia (rys. 2). Profil geologiczny omawianego obszaru rozpoznano otworem Połczyn IG-1 (głęb. 2705 m) oraz otworami Świdwin 3 i Połczyn 2.

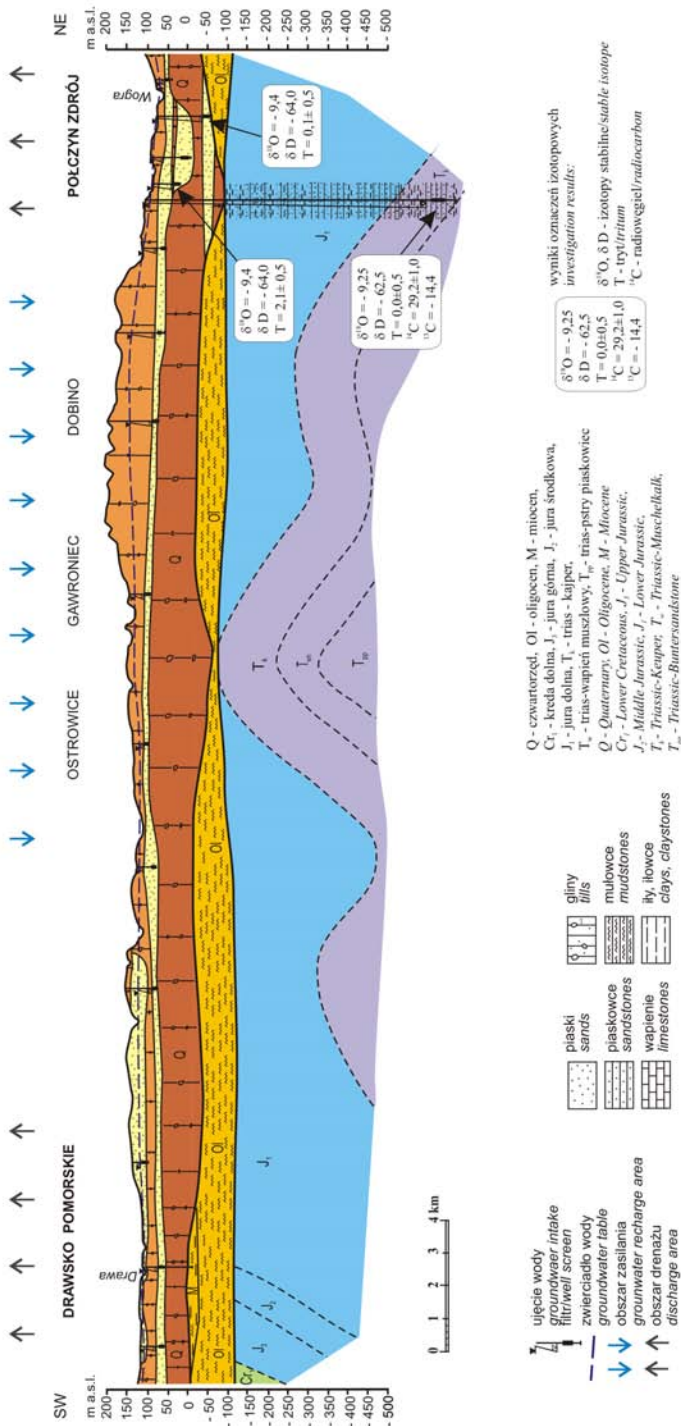
Osady czwartorzędu to gliny zwałowe, piaski różnoziarniste, żwiry oraz namuły dolinne. Pod tymi warstwami występują osady oligoceńskie. Są to: mułowce oraz iłowce, a niekiedy piaski drobnoziarniste. W rejonie Drawska na osadach wieku oligoceńskiego leżą mioceńskie iły z przewarstwieniami piasków, mułków oraz węgla brunatnych. Osady oligocenu nie są ciągłe na omawianym obszarze. W rejonie Połczyna Zdroju osady czwartorzędu zalegają bezpośrednio na osadach liasu, a na północ od Ostrowic leżą bezpośrednio na osadach triasu górnego. Utwory jury dolnej zajmują większość powierzchni podkenozoicznej na badanym obszarze (rys. 1b). Są to piaskowce drobno i średnioziarniste z przewarstwieniami iłowców i mułowców. W Połczynie Zdroju utwory triasu występują poniżej 620 m p.p.t. Są to piaskowce, mułowce i iłowce należące do retyku (do głębokości 1035 m), a pod nimi zalegają iłowce z wkładkami piaskowców i z gniazdami anhydrytu należące do kajpru.

W utworach czwartorzędowych występują przeważnie dwa poziomy wodonośne zawierające wody zwykłe typu  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{Ca}^{2+}$  o mineralizacji do  $0,7 \text{ g/dm}^3$ . Wydajności potencjalne ujęć wynoszą najczęściej od 30 do  $70 \text{ m}^3/\text{h}$ . Głębsze poziomy wodonośne zostały słabo rozpoznane. Poziomy wodonośne w obrębie warstw mezozoicznych zostały dobrze rozpoznane jedynie w Połczynie Zdroju dzięki ujęciom Połczyn 2 (Krawiec, Dulski, 2004) oraz Połczyn IG-1 (Szyperko-Śliwczyńska, 1979).

W otworze Połczyn 2 opróbowane zostały dwa poziomy wodonośne. Pierwszy w piaskowcach jury dolnej (lias) na głębokości 580-620 m. W warstwach liasu nawiercono wody typu  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{Na}^+$  o mineralizacji  $0,5 \text{ g/dm}^3$  i zawartości  $15 \text{ mg/dm}^3$  jonu  $\text{Cl}^-$ . Drugi z przebadanych poziomów wodonośnych, na głębokości 711÷767 m, w obrębie piaskowców triasu górnego (retyk) został przystosowany do eksploatacji. Ujęto tu wodę typu  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{Na}^+$  o mineralizacji  $0,74 \text{ g/dm}^3$ .

W otworze Połczyn IG-1 ujęty został poziom wodonośny w osadach kajpru górnego na głębokości 1175÷1235 m. Ujęto tu solankę typu  $\text{Cl}^-$ - $\text{Na}^+$ , Br, J o mineralizacji  $75 \text{ g/dm}^3$ .

Specyficzną cechą badanego obszaru są bardzo duże różnice w mineralizacji wód w obrębie warstw triasu. Woda w warstwach retyku ma mineralizację  $0,7 \text{ g/dm}^3$ , natomiast woda w utworach kajpru  $75 \text{ g/dm}^3$ . Pomiędzy warstwą wodonośną w osadach retyku a warstwą wodonośną w utworach kajpru, ujętą w otworze Połczyn IG-1, występuje seria ponad 300 m utworów ilastych stanowiąca bardzo dobrą izolację pomiędzy tymi poziomami i praktycznie uniemożliwiająca przepływ wód pomiędzy nimi.



Rysunek 2. Przekrój hydrogeologiczny Drawsko Pomorskie - Polczyn Zdroj  
 Figure 2. Hydrogeological cross-section Drawsko Pomorskie - Polczyn Zdroj

## Wyniki badań

Opracowany został model systemu krążenia wód podziemnych na przekroju hydrogeologicznym pomiędzy Drawskiem Pomorskim a Połczynem Zdrój. Do obliczeń czasu przepływu wód wykorzystano pakiet programowy Visual MODFLOW wersja 2.8.2. Uzyskane wyniki porównano z wynikami oznaczeń izotopowych (tab. 1) z rejonu Połczyna Zdroju (Fuszara, 1998; Krawiec, 2002).

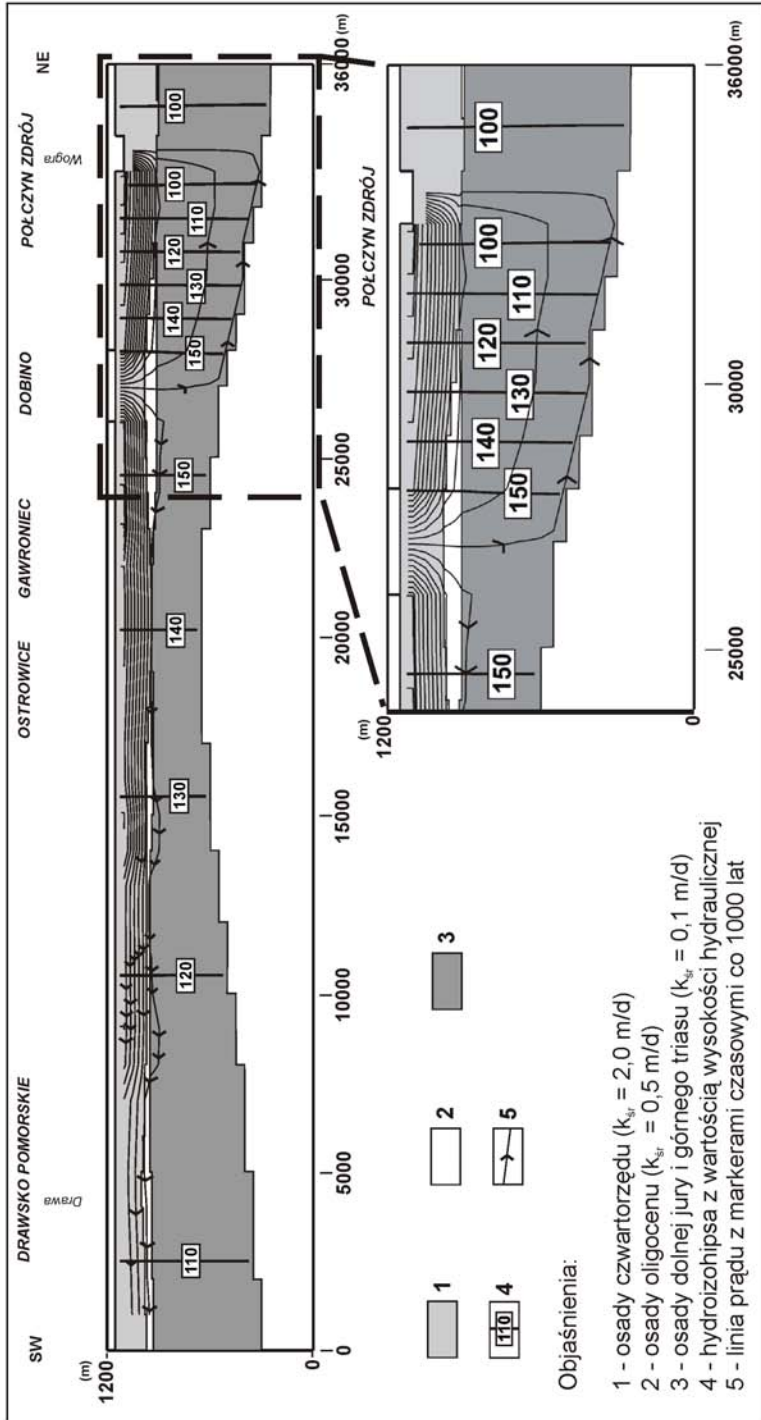
Model „Drawsko Pomorskie - Połczyn Zdrój” (rys. 3) przecina w poprzek centralną część antyklinorium pomorskiego. Jego długość wynosi 36 km. Krążenie wód podziemnych modelowano w osadach kenozoiku, jury i górnego triasu. Wartości parametrów hydrogeologicznych, tj.  $\bar{k}$  – współczynnika filtracji,  $\bar{n}_e$  – współczynnika odsączalności, do modelu przyjęto na podstawie wartości z dokumentacji hydrogeologicznych oraz w przypadku ich braku na podstawie literatury (Dąbrowski i in., 1997; Borczak, Motyka, 1991; Zuber, Motyka, 1994). Uśredniony współczynnik filtracji dla warstw czwartorzędu oszacowano na 2 m/d, a współczynnik odsączalności na 0,12, dla warstw oligocenu przyjęto  $\bar{k} = 0,5$  m/d przy  $\bar{n}_e = 0,07$ . Dla osadów jury i stropu triasu górnego uśredniony współczynnik filtracji wynosi 0,1 m/d, a współczynnik odsączalności  $\bar{n}_e = 0,00036$ .

Wykonany został model płaski, ukazujący przebieg trajektorii linii przepływu cząstek wody. W modelach tego typu nie wykonuje się bilansu modelu, ponieważ nie definiuje się jego szerokości, którą można przyjąć dowolnie. Modele przepływu na przekrojach nie służą do ocen bilansowych a jedynie obrazują w sposób przybliżony układ linii prądu i linii ekwipotencjalnych, potwierdzając lub też nie przyjęty na wstępie model koncepcyjny analizowanego systemu krążenia.

W obliczeniach dla przekroju Połczyn Zdrój – Drawsko Pomorskie przyjęto szerokość równą 1 m. Dla tej szerokości przekroju przepływ wody przez domenę modelu wynosi 8,8 m<sup>3</sup>/dobę. W postaci wskaźnikowej w odniesieniu do "powierzchni" modelu widzianej w planie wynoszącej 36 000 m<sup>2</sup> (1m szerokości x 36 km długości) przepływ ten wynosi 90 mm/rok. Wartość 90 mm/rok można interpretować jako zasilanie efektywne, średnie dla wielolecia, modelowanego systemu krążenia wód podziemnych.

Zwierciadło wód podziemnych poziomu czwartorzędowego kształtuje się na rzędnej od 90 m n.p.m. w dolinie Wogry do ponad 150 m n.p.m. na SE od Połczyna Zdroju. Strop praktycznie nieprzepuszczalnych osadów triasu górnego znajduje się na rzędnych około -380 m n.p.m. w części centralnej przekroju i obniża się do -850 m n.p.m. w rejonie Połczyna Zdroju.

Wyniki symulacji komputerowej podano na przekroju (rys. 3) w postaci obliczonej siatki hydrodynamicznej, gdzie linie prądu to trajektorie, w sensie prezentowanego modelu, cząstek wody od miejsca zasilania do strefy drenażu oraz linie ekwipotencjalne (hydroizohipsy). Spąg modelu to granica wyznaczonej przez praktycznie nieprzepuszczalne utwory triasu górnego. Strzałki na liniach prądu to znaczniki czasowe, a odległości pomiędzy nimi, liczone wzdłuż danej linii prądu, odpowiadają 1000-letniemu przemieszczaniu się cząsteczki wody w modelowanym systemie. Oszacowany w oparciu o model hydrodynamiczny „wiek” wód ujętych w otworze Połczyn 2 wynosi około 5 tys. lat.



**Rysunek 3.** Model przepływu wód podziemnych na przekroju hydrogeologicznym pomiędzy Drawskiem Pomorskim a Polczynem Zdrój

**Figure 3.** Groundwater flow system model; model domain: hydrogeological cross-section between Drawsko Pomorskie and Polczyn Zdrój



Z przeprowadzonych badań modelowych wynika, iż w północno-wschodniej części domeny modelu, pomiędzy Dobinem a Połczynem Zdrój, strefa aktywnej wymiany wód podziemnych sięga utworów praktycznie nieprzepuszczalnych górnego triasu, tj. do głębokości około 500÷800 m. Przepływ wód w dolnej części tej strefy stanowi jedynie kilka procent całkowitego przepływu wód podziemnych w tym rejonie. Proces wymiany wód podziemnych ma tu miejsce głównie w osadach czwartorzędu stanowiących górny fragment domeny prezentowanego modelu.

Badania modelowe wykazały, iż strumień wód „młodych” infiltrujących w holocenie do ośrodka skalnego w rejonie Dobina dociera do piaszczystych osadów jury dolnej i górnego retyku stanowiących tu spąg strefy aktywnej wymiany. Potwierdzają to wyniki oznaczeń składu izotopowego próbki wody z otworu Połczyn 2 (tab. 1). Strumień ten dopływa do rzędnej około -700 m n.p.m. Z przeprowadzonej symulacji komputerowej wynika bardzo mała odnawialność wód w piętrze jurajskim pomiędzy Dobinem a Połczynem Zdrój.

**Tabela 1.** Dane izotopowe z ujęć wód podziemnych rejonu Połczyna Zdroju

**Table 1.** Isotopic composition of water samples from Połczyn wells

Nazwa ujęcia Well site	Strat./Głęb. Strat. Depth [m]	Data Date	Mineraliz. TDS [g/dm <sup>3</sup> ]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta\text{D}$ [‰]	Tryt Tritium [T.U.]	<sup>14</sup> C [pMC]	<sup>13</sup> C [‰]
Połczyn 1	Q/ 70	23.05.97*	0,4	- 9,4	- 64,0	2,1± 0,5		
Połczyn 1a	Q/ 140	23.05.97*	0,4	- 9,4	- 64,0	0,1± 0,5		
Połczyn 2	T <sub>retyk</sub> / 767	10.03.01**	0,74	- 9,25	- 62,5	0,0 ± 0,5	29,2±1,0	- 14,4
Połczyn IG-1	T <sub>kajper</sub> /1248	25.04.97**	75,4	- 3,7	-31,0			

\* Fuszara (1998), \*\* Krawiec (2002)

## Wnioski

Czynnikiem kształtującym system krążenia wód podziemnych na analizowanym obszarze jest oprócz budowy geologicznej także ukształtowanie powierzchni terenu. Głęboko wcięte doliny rzek i rynny jezior jak również duże deniwelacje terenu sprzyjają procesowi wymiany wód podziemnych. W rejonie Połczyna Zdroju strefa aktywnej wymiany wód sięga do głębokości około 500÷800 m. Ilość wód dopływających do spągu tej strefy stanowi tu tylko kilka % całkowitego przepływu strumienia wód podziemnych.

Duży średni regionalny spadek hydrauliczny ( $I_{sr} = 0,0075$ ) pomiędzy Dobinem a Połczynem Zdrój (rys. 3) wyraźnie generuje znaczące przepływy wód podziemnych, głównie w osadach czwartorzędu, i jest przyczyną powstania tu strefy aktywnej ich wymiany o znacznej głębokości. W rejonie Połczyna stwierdzono jedno z najwyższych rzędnych zwierciadła wód podziemnych na Pomorzu zarówno w piętrze czwartorzędowym (150 m n.p.m.) jak i w piętrze dolnojurańskim (110 m n.p.m.) oraz górnotriasowym (retyckim) (107 m n.p.m.). Jest to obszar wododziałowy w sensie regionalnym. Z tego obszaru wody

podziemne spływają głównie ku północy w kierunku Morza Bałtyckiego oraz ku południowi i południowemu-wschodowi do doliny Noteci.

Wykonany model płaski dobrze obrazuje układ linii prądu i linii ekwipotencjalnych systemu krążenia wód podziemnych na analizowanym obszarze. Na jego podstawie oszacowano „wiek” wód ujętych w otworze Połczyn 2 na około 5 tys. lat, co potwierdzają wyniki analiz izotopowych, na podstawie których wiek ten określono na 5,5 tys. lat.

## Literatura

- Borczak S., Motyka J., 1991: *Własności hydrogeologiczne przestrzeni porowej skał liasowych na Niżu Polskim*. V Ogólnopolskie Sympozjum „Współczesne problemy hydrogeologii”. Jachranka. Wyd. SGGW AR Warszawa, 48, s. 217-222.
- Dadlez R., Marek S., Pokorski J. (eds), 2000: *Geological map of Poland without caenozoic deposits*. Państw. Inst. Geol. Warszawa. Wyd. Kart. PAE S.A.
- Dąbrowski S., Rysiukiewicz K., Wijura A., 1997: *Odnawialność systemu wodonośnego zlewni Regi i Przymorza według badań hydrogeologicznych*. [in:] Górski J., Liszkowska E. (red.), *Współczesne problemy hydrogeologii*”, Kiekrz k/Poznań. Tom VIII, Wyd. WIND-Wrocław, s. 47-52.
- Fuszara P., 1997: *Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Połczyn Zdrój*. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- Krawiec A., 2002: *Studium hydrogeologiczne wód leczniczych antyklinorium kujawsko-pomorskiego*. Niepublikowane. Arch. UMK Toruń.
- Krawiec A., Dulski K., 2004: *Wody lecznicze Połczyna Zdroju*. Przegląd Geologiczny, Warszawa. vol. 51, nr 2, s. 147-151.
- Szyperko-Śliwczyńska A. (red.), 1979: *Połczyn IG 1*. Profile głębokich otworów wiertniczych Instytutu Geologicznego. Wyd. Geol. Warszawa, z. 48.
- Visual MODFLOW User's Manual*, Waterloo Hydrogeologic Inc. Waterloo, Ontario, Canada, 2000.
- Zuber A., Motyka J., 1994: *Matrix porosity as the most important parameter of fissured rocks for solute transport at large scales*. Journal of Hydrology, 158, s. 19-46.