

Przestrzenne związki pomiędzy rozmieszczeniem najwydajniejszych źródeł a neotektoniką w zlewni Białej Łady na Roztoczu Gorajskim (środkowo-wschodnia Polska)

Lukasz Chabudziński¹, Teresa Brzezińska-Wójcik¹

Spatial relationships between the distribution of springs with the highest discharge and the neotectonics of the Biała Łada catchment in the Goraj Roztocze region (central-east Poland). *Prz. Geol.*, 65: 1184–1188.

Abstract. Considerations of the relationships between the groundwater systems and neotectonics in the Roztocze region have been first undertaken by J. Malinowski in the 1970s. Until now, no research results have supported or challenged the hypothesis proposed by this author. Therefore, this paper is an attempt to present the results of a detailed analysis of the relationships between the distribution of springs characterised by the highest discharge rates and neotectonics. The study area covered the Roztocze part of the Biała Łada catchment, which has been subjected to detailed hydrogeological and hydrological investigations since the 1960s. The study was based on spatial data concerning the distribution of springs and information about the discharge rates of the largest springs. The data were juxtaposed with the relatively active tectonic zones distinguished in the catchment based on the relative tectonic activity index (*Iat*). The index was calculated using ArcGIS software, based on DEM, and with the use of the ArcNEO tool. The investigations indicated that springs with the highest discharge rates are located in the intersection zone of the main Biała Łada dislocation with accompanying faults. Additionally, the springs are located in the mouth sections of dry, asymmetric valleys and at the foot of their steep slopes following isostatically elevated hanging walls. The results support the hypothesis put forward by J. Malinowski (1993), who suggested that the distribution of springs with the highest discharge rates is determined by tectonics of the rock massif, in particular the distribution of the main dislocations and the accompanying subordinate discontinuous tectonic structures.

Keywords: springs, discharge, neotectonics, Roztocze region

Badania nad zależnością pomiędzy cechami wód podziemnych a neotektoniką na obszarze Roztocza jako pierwszy podjął Malinowski (1977) w latach 70. XX w. Późniejsze wyniki prowadzonych badań jednak nie potwierdziły, ale też nie zanegowały, postawionej przez tego autora hipotezy, że istnieje bezpośredni związek między lokalizacją i wydajnością źródeł a neotektoniką. W niniejszej pracy podjęto próbę zaprezentowania wyników szczegółowej analizy takich związków.

OBSZAR, MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Za poligon badawczy przyjęto roztoczańską część zlewni Białej Łady o powierzchni 132,9 km² (ryc. 1). Jej obszar jest przedmiotem szczegółowych badań hydrogeologicznych i hydrologicznych od lat 60. XX w. Zlewnia ta charakteryzuje się skomplikowaną budową geologiczną (Brzezińska, 1959; Brzezińska-Wójcik, 2013), znacznym zróżnicowaniem hipsometrycznym (108,0 m), małą gęstością powierzchniowej sieci wodnej (0,14 km · km⁻²) oraz dużymi głębokościami do wody podziemnej (do 72,0 m) w strefach wierzchowin. Na obszarze zlewni funkcjonują źródła o zróżnicowanej wydajności. Najczęściej są to wypływy o wydatku sięgającym kilkunastu dm³ · s⁻¹ zasilane wodami podziemnymi krążącymi w węglanowych skałach mioceńskich. Natomiast o zasadniczym kształtowaniu zasobów wód powierzchniowych decydują trzy najwydajniejsze źródła, drenujące skały późnokredowe, o sumarycznej średniej wydajności 480 dm³ · s⁻¹ (Michalczyk i in., 2008). Źródła te występują w miejscowościach: Abramów (1), Goraj (2) i Malinie (3) (ryc. 1).

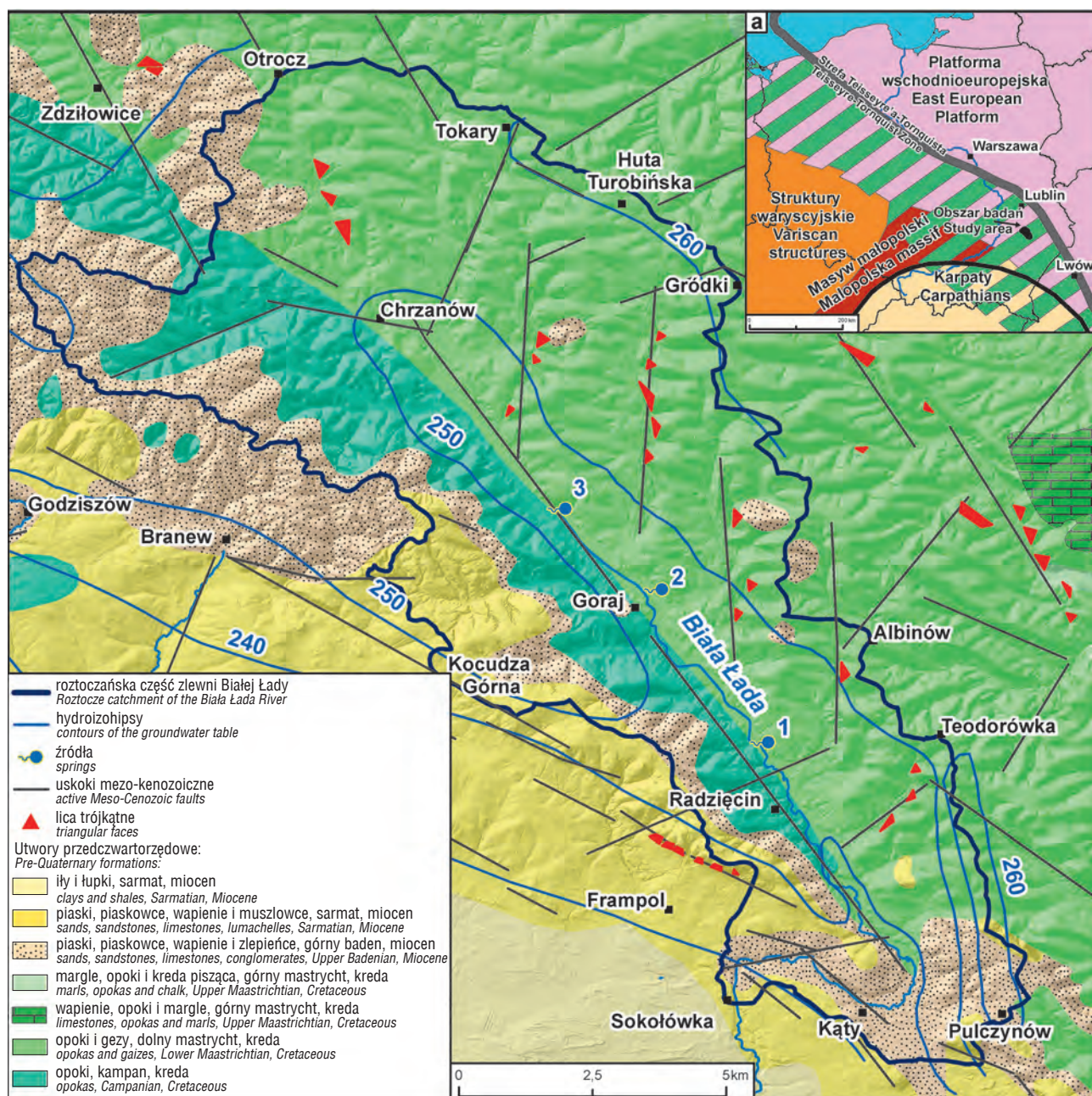
Do badań wykorzystano dane przestrzenne charakteryzujące: rozmieszczenie źródeł i wybrane cechy ich reżimu,

najnowsze dane geologiczne i hydrogeologiczne, cechy ukształtowania powierzchni terenu. Szczegółową analizę położenia źródeł oraz warunków krążenia wody podziemnej przeprowadzono w odniesieniu do autorskich danych dotyczących wysokości położenia wody podziemnej (pomiarów wykonano w 81 studniach kopanych) oraz najnowszych danych geologicznych (Wągrowski, 1996, 2001; Brzezińska-Wójcik, 2013; Jankowski, Margielewski, 2015), hydrogeologicznych (Bank HYDRO) oraz cyfrowego modelu wysokościowego (CWM, ang. DEM) o rozdzielczości 5 × 5 m. Do analizy wykorzystano także wyniki pomiarów wydajności największych źródeł z lat 2008–2014. Następnie w oprogramowaniu ArcGIS, na podstawie CWM, wyznaczono działy wodne 695 zlewni cząstkowych 6.–9. rzędu (o powierzchniach 0,02–14,44 km²). W zlewniach tych za pomocą narzędzia ArcNEO (Chabudziński, Brzezińska-Wójcik, 2013) obliczono wskaźnik względnej aktywności tektonicznej *Iat* (El Hamdouni i in., 2008) i na jego podstawie wyróżniono siedem aktywnych stref tektonicznych.

CHARAKTERYSTYCZNE CECHY GEOLOGICZNE ROZTOCZAŃSKIEJ CZĘŚCI ZLEWNI BIAŁEJ ŁADY

Według tektonicznego planu podkenozoicznego analizowana zlewnia znajduje się w niecce puławskiej (Narkiewicz, Dadlez, 2008; Żelaźniewicz i in., 2011), nazywanej synklinorium lubelsko-lwowskim (Pożaryski, 1974). Utwory podkenozoiczne, wypełniające nieckę, należą głównie do dwóch megacykli sedymentacyjnych – środkowo-późnojurajskiego i późnokredowego (Swidrowska i in., 2008). Na obszarze zlewni lokalnie odsłaniają się opoki kampanu oraz opoki i gezy późnego mastrychtu (ryc. 1).

¹ Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Marii-Curie Skłodowskiej, Al. Kraśnicka 2C, D, 20-718 Lublin; lchabudzinski@poczta.umcs.lublin.pl, tbrzezina@poczta.umcs.lublin.pl.



Ryc. 1. Lokalizacja roztoczańskiej zlewni Białej Łady na tle pokrywy mezo-kenozoicznej bez utworów czwartorzędowych (wg Brzezińskiej, 1959 i Wągrowskiego, 2001); a – jednostki tektoniczne podpermsko-mezozoiczne (wg Gutercha, Grada, 2006)

Fig. 1. Location of the Roztocze catchment of the Biała Łada River in relation to the Meso-Cenozoic cover without Quaternary formations (after Brzezińska, 1959 and Wągrowski, 2001); a – sub-Permian-Mesozoic tectonic units (after Guterch, Grad, 2006)

Spośród struktur nieciągłych w odsłonięciach skał późnokredowych do najważniejszych należy uskoki kulisowy Białej Łady, związany z uskokiem lewoprzesuwczym głównej strefy dyslokacyjnej (*Roztocze Fault Zone*; Jarośniński i in., 2009), datowany na pliocen–dolny czwartorzęd (Jankowski, Margielewski, 2015). Z uskokiem tym są sprzężone podrzędne uskoki opierające. Struktury te dzielą obszar dorzecza na bloki o różnej wielkości (ryc. 1).

Osady miocenne (płytkomorskie, węglanowe i terygeniczne) są zerodowane i nie tworzą ciągłej pokrywy (ryc. 1). Na zachodnim skrzydle zlewni pomiędzy Gorajem a Kątami występują wychodne wapieni litotamniowych, rafowych i detrytycznych badenu i sarmatu. Na skrzydle wschodnim – na północo-wschód od miejscowości Kąty – odsłaniają się niewielkie płyty wapieni organodetrytycznych badenu (Wągrowski, 1996, 2001).

Kompleks utworów czwartorzędowych obejmuje plejstocenne osady fluwioglacjalne, eoliczne, fluwialne, deluwialne i eluwialne – bardzo zróżnicowane pod względem genetycznym i wiekowym (Wągrowski, 1996, 2001). Holocenne iły i piaski z domieszką substancji organicznej wypełniają dno doliny Białej Łady oraz dolin do niej uchodzących.

W świetle najnowszych badań (Jankowski, Margielewski, 2015) układ stref uskokowych i spękań sugeruje, że analizowana zlewnia znajduje się w granicach regionalnej wielkoskalowej struktury kwiatowej, jaką jest obszar Roztocza, zakorzenionej w głębokim podłożu (Pożaryski, 1977). Analizowane źródła znajdują się w strefie aktywnego uskoku, do którego nawiązują dolina główna Białej Łady. O jego mobilności świadczą: zwiększone spadki dna doliny w jej profilu podłużnym w strefie przecinania struktur

synklinalnych, wypukły profil podłużny doliny oraz wartości wskaźnika Vf, odpowiadające dźwiganiu strefy z prędkością 0,05–0,40 mm/rok (Brzezińska-Wójcik, 2013).

WYNIKI

Uzyskane wyniki wskazują, że woda podziemna występuje na wysokościach 230–260 m n.p.m. Zwierciadło głównego poziomu wodonośnego jest słabo nachylone ku dolinie głównej. Natomiast lokalnie (w strefie działów wodnych) wysokość na jakiej występuje wzrasta o 5–10 m, co powoduje gwałtowny wzrost spadku hydraulicznego.

Ustalono, że pod względem średniej wydajności analizowane źródła mieszczą się w III klasie wg Meinzera (Pazdro, 1983). Najwydajniejsze było źródło nr 3, natomiast wydatek najbardziej zmieniał się w źródle nr 2 (tab. 1). Wartości współczynnika α dla każdego okresu recesji źródeł mieściły się w przedziale od $6,0 \cdot 10^{-4}$ do $2,6 \cdot 10^{-3}$, a czas przebywania wody w systemie wodonośnym wynosił od 390 dni w źródle nr 1 do 1796 dni w źródle nr 3 (tab. 2).

W rezultacie obliczonego wskaźnika względnej aktywności tektonicznej I_{at} w zlewni Białej Łady wyróżniono siedem względnie aktywnych stref tektonicznych. Należą do nich strefy pomiędzy: 1) Frampolem a Kałami, 2) Kocudzą Górną a Gorajem, 3) Chrzanowem a Godziszowem, 4) Chrzanowem a Zdziłowicami, 5) Chrzanowem a Otroczą, 6) Hutą Turobińską a Gorajem, 7) Radzięcinem a Albinowem. Oszacowano dla nich prędkości dźwigania na ok. 0,40–0,50 mm/rok (ryc. 2).

DYSKUSJA

Badane źródła znajdują się pod lewym zboczem doliny Białej Łady, we fragmencie o bardzo dobrze widocznej asymetrii (ryc. 2a). Ich położenie wiąże się z wyróżnionymi trzema względnie aktywnymi strefami tektonicznymi, tj. w strefach przecięcia dyslokacji Białej Łady z podrzędnymi uskokiemi opierającymi. Cały ten zespół uskokiów tworzy w planie układ pierzasty (Brzezińska-Wójcik,

Tab. 1. Wybrane charakterystyki dynamiki wydajności badanych źródeł w latach 2009–2014

Table 1. Selected characteristics of springs discharge in 2009–2014

Numer źródła No. of spring	Q	Kl.	Q _{max}	Q _{min}	R	SD _Q	Cv
1	205,6	III	270,4	106,4	2,5	27,4	13,3
2	144,5	III	238,7	82,9	2,9	26,8	18,5
3	236,5	III	279,7	178,3	1,6	21,5	9,1

Objaśnienia: Q – średnia wydajność, Kl. – klasa wydajności wg Meinzera, Q_{max} – wydajność maksymalna, Q_{min} – wydajność minimalna, R – wskaźnik zmienności Mailleta ($R = Q_{max} \cdot Q_{min}^{-1}$), SD_Q – odchylenie standardowe wydatku, Cv – współczynnik zmienności $Cv = SD_Q \cdot Q^{-1}$

Explanations: Q – average discharge, Kl. – Meinzer discharge class, Q_{max} – maximum discharge, Q_{min} – minimum discharge, R – Mailliet's variability index ($R = Q_{max} \cdot Q_{min}^{-1}$), SD_Q – standard deviation of discharge, Cv – coefficient of variation $Cv = SD_Q \cdot Q^{-1}$

2013), od dość dawna uważany (Marinelli, 1922) za przejaw w miarę młodego dźwigania tektonicznego (ryc. 2). Pod względem morfologicznym źródła znajdują się w ujściowych fragmentach suchych, asymetrycznych dolin, u podnóży ich stromych zboczy, nawiązujących do elewowanych izostatycznie (*isostatic rebound, footwall elevation*; Wernicke, Axen, 1988) wiszących skrzydeł uskokiów. W miejscach tych odsłaniają się spękane opoki i gezy mastrychtu z marglistymi przeławieniami.

O drenażu i dopływie wody podziemnej do tych źródeł decyduje jednak nie tylko tektonika, lecz także litologia skał, zwłaszcza występowanie cienkich ławic utworów słabo przepuszczalnych (Przemyski, 1979). Ławice te decydują o tym, że wody podziemne w tym segmencie zlewni Białej Łady tworzą przynajmniej dwie warstwy wodonośne (ryc. 3). Przy czym jedna z tych warstw, występująca powyżej, ma bardzo małą miąższość, a zasadniczy poziom wodonośny tworzy warstwa znajdująca się poniżej niej. Na taką sytuację wskazują wyniki pomiarów prowadzonych w studniach kopanych oraz próbnych pompowań. Zwierciadło wody podziemnej w warstwie górnej ma charakter swobodny, natomiast w warstwie dolnej tworzy

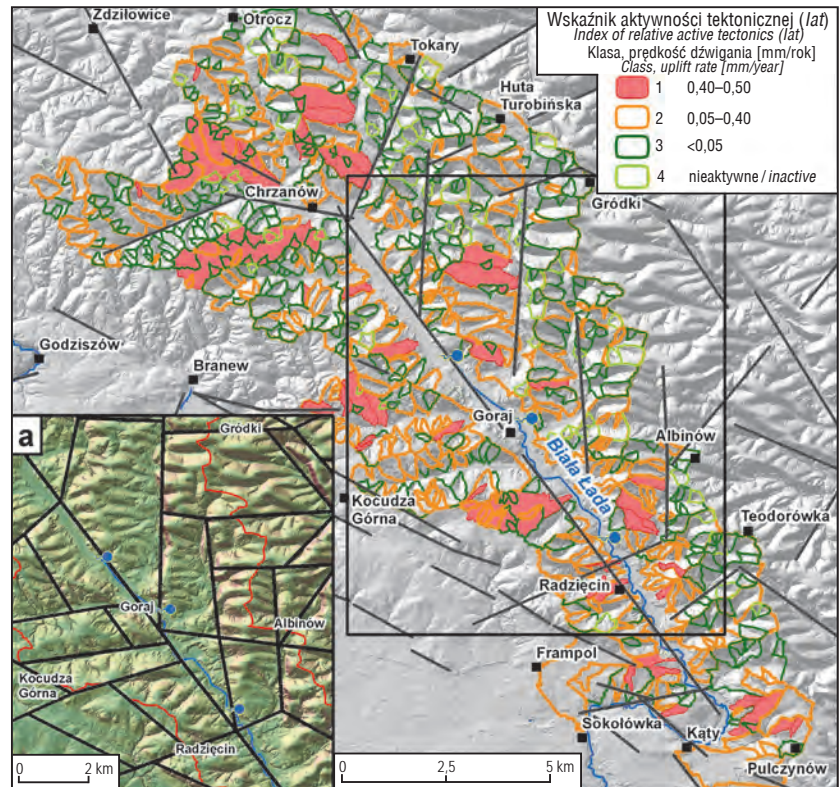
Tab. 2. Okresy recesji źródeł w latach 2009–2014

Table 2. Periods of spring recession in 2009–2014

Numer źródła No. of spring	Numer okresu No. of period	Q ₀		Q _t		Czas Time [dni / days]	Współczynnik regresji źródła Recession coefficient of spring α	Potencjał zasobności Storage capacity W [m ³]	Czas przebywania Water residence time T [dni / days]
		Data Date	Wydajność Spring discharge [dm ³ · s ⁻¹]	Data Date	Wydajność Spring discharge [dm ³ · s ⁻¹]				
1	1	2009-04-05	228,6	2009-08-23	176,2	140	0,0019	10 620 713	538
	2	2009-09-13	188,1	2009-12-13	162,0	91	0,0016	9 900 543	609
	3	2011-03-06	250,9	2011-05-22	205,9	77	0,0026	8 444 577	390
	4	2011-08-22	270,4	2012-03-02	178,4	193	0,0022	10 842 161	464
	5	2012-04-23	209,7	2012-07-06	184,6	74	0,0017	10 516 696	580
	6	2012-08-23	219,5	2013-01-15	172,0	145	0,0017	11 276 639	595
	7	2013-04-26	264,9	2014-02-15	193,4	295	0,0011	21 462 005	938
2	1	2009-04-05	125,5	2009-06-28	107,0	84	0,0019	5 711 352	527
	2	2009-10-25	129,9	2010-01-15	110,0	82	0,0020	5 534 582	493
	3	2011-07-27	238,7	2012-07-06	123,8	345	0,0019	10 837 371	525
3	1	2009-10-25	231,7	2010-03-21	201,7	147	0,0009	21 222 654	1060
	2	2011-09-27	279,7	2012-03-02	230,5	157	0,0012	19 610 992	812
	3	2012-10-31	270,0	2013-07-05	235,3	247	0,0006	41 887 091	1796

Ryc. 2. Aktywne strefy tektoniczne w roztoczańskiej części zlewni Białej Łady: a – lokalizacja najwydajniejszych źródeł względem aktywnych stref uskokowych na tle mapy spadków

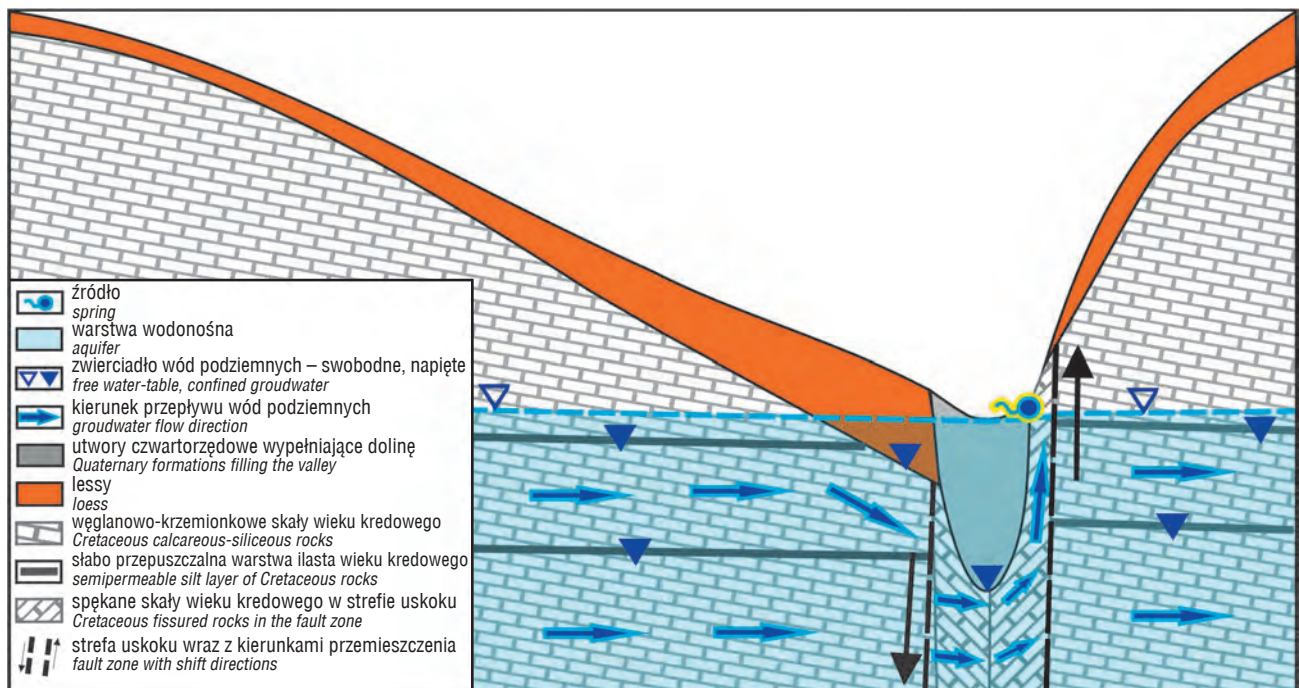
Fig. 2. Active tectonic zones of the Roztocze catchment of the Biała Łada River: a – location of springs with the highest discharge rates and active fault zones against the map of slopes



zwierciadło napięte. Na jego naporowy charakter wskazuje układ wód podziemnych w bezpośrednim sąsiedztwie źródeł. Wody podziemne w studniach kopanych występują tam na tej samej wysokości lub nieco poniżej wysokości na jakiej następuje wypływ wody podziemnej w niszach źródeł. Z analizy lokalizacji źródeł wynika, że główny kontakt hydrauliczny między warstwami dolną a górną jest w strefach uskoków (ryc. 3), ujawniających się w asymetrii zboczy dolin. Podkreślić należy, że w dotychczasowych opracowaniach (Malinowski, 1974; Michalczyk, 1996) wyróżnione przez autorów artykułu dwie warstwy były interpretowane jako jeden horyzont wodonośny.

Z danych, dotyczących zasobności zbiornika wód podziemnych (tab. 2), obliczonych na podstawie dynamiki wydajności analizowanych źródeł wynika, że drenują one warstwę dolną. Obliczony czas przebywania wody w masywie skalnym pozwala sądzić, że zasilanie źródeł następuje z obszarów oddalonych o kilka lub kilkanaście kilometrów. Jednak ustalone wartości współczynnika filtracji na tym obszarze (Malinowski, 1974) wskazują na lokalny

szybki przepływ wód podziemnych, co nie przekłada się bezpośrednio na dynamikę wydajności źródeł. Cechuje je mała zmienność wydajności, zarówno roczna, jak i sezonowa z długim czasem alimentacji. Sugeruje to, że ustalone w trakcie próbnych pompowań wartości współczynnika filtracji mogą mieć charakter lokalny, związany z występowaniem największych ciśnień w bezpośrednim sąsiedztwie doliny, lub w podrzędnych strefach uskokowych sprzężonych z dyslokacją Białej Łady (ryc. 3). Na podstawie uzyskanych wyników wypływu wody znajdują się w pery-



Ryc. 3. Koncepcyjny model przepływu wody podziemnej w strefie aktywizowanej tektonicznie
Fig. 3. Conceptual model of groundwater flow direction in a tectonically activated zone

feryjnych częściach wyróżnionych względnie aktywnych stref tektonicznych (najczęściej na granicy bloków).

Autorzy przypuszczają, że zasadniczy przepływ wód podziemnych w wyróżnionych strefach tektonicznych następuje jednak równolegle do doliny Białej Łady oraz poprzecznie do suchych dolin do niej uchodzących (wypełnionych materiałem luźnym o zmiennych parametrach hydrogeologicznych). Sugeruje to, że brzegi aktywnych tektonicznie bloków z wiszącymi skrzydłami uskoków, elewowanymi izostatycznie, stanowią uprzywilejowane miejsca, w których następuje wpływ wód podziemnych w postaci wydajnych źródeł.

WNIOSKI

Wyniki kompleksowej analizy przestrzennego rozmieszczenia źródeł oraz wybranych cech ich reżimu, odniesione do cech tektonicznych i litostratygraficznych obszaru oraz form rzeźby terenu, wykazały, że najbardziej wydajne źródła (zasilane z poziomu wodonośnego w skałach późnokredowych) znajdują się w:

- strefach przecięcia głównych dyslokacji uskokami towarzyszącymi, zwykle opierającymi;
- ujściowych fragmentach suchych, asymetrycznych dolin – u podnóży ich stromych zboczy, nawiązujących do elewowanych izostatycznie wiszących skrzydeł uskoków opierających.

Wyniki pomiarów w studniach kopanych oraz dane z próbnych pompowań wskazują na istnienie nie jednej, jak dotychczas sądzono, ale dwóch warstw wodonośnych, uwarunkowanych litologią skał późnokredowych. Z dynamiki wydajności analizowanych źródeł wynika, że drenują one wyróżnioną przez autorów warstwę dolną głównego zbiornika wód podziemnych.

Ponadto uzyskane rezultaty:

- uszczegóławiają wyniki wcześniejszych badań w zakresie położenia zwierciadła wody podziemnej;
- potwierdzają sugestię Malinowskiego (1993), że o lokalizacji najwydajniejszych źródeł decyduje neotektonika górotworu.

Autorzy dziękują Recenzentom i Redakcji Przeglądu Geologicznego za cenne uwagi, które wpłynęły na ostateczną wersję artykułu. Wyniki badań w publikacji są efektem realizacji projektu pt. „Zasilanie i drenaż w strefie pogranicza Wyżyny Lubelskiej i Roztocza”, finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji nr DEC-2012/05/N/ST10/03963 oraz statutowego zadania badawczego „Uwarunkowania rozwoju rzeźby obszarów wyżynnych Polski SE” nr BS-P-12-011-17-C-01.

LITERATURA

- BRZEZIŃSKA M. 1959 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Biłgoraj (M34-58A). Wyd. Geol., Warszawa.
- BRZEZIŃSKA-WÓJCIK T. 2013 – Morfotektonika w annopolsko-lwowskim segmencie pasa wyżynnego w świetle analizy cyfrowego modelu wysokościowego oraz wskaźników morfometrycznych. Wyd. UMCS, Lublin, s. 397.
- CHABUDZIŃSKI Ł., BRZEZIŃSKA-WÓJCIK T. 2013 – Zastosowanie ArcNEO do oceny przejawów neotektoniki na przykładzie zlewni górno-wieprza (Roztocze, środkowo-wschodnia Polska). *Landform Analysis*, 24: 11–22.
- EL HAMDOUNI R., IRIGARAY C., FERNANDEZ T., CHACÓN J., KELLER E.A. 2008 – Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96 (1/2): 150–173.
- GUTERCH A., GRAD M. 2006 – Lithospheric structure of the TESZ in Poland based on modern seismic experiments. *Geol. Quart.*, 50 (1): 23–32.
- JANKOWSKI L., MARGIELEWSKI W. 2015 – Pozycja tektoniczna Roztocza w świetle historii rozwoju zapadliska przedkarpackiego. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 462: 7–28.
- JAROSIŃSKI M., POPRAWA P., ZIEGLER P.A. 2009 – Cenozoic dynamic evolution of the Polish Platform. *Geol. Quart.*, 53 (1): 3–26.
- MALINOWSKI J. 1974 – Hydrogeologia Roztocza Zachodniego. *Pr. Hydrogeol.*, 6: 1–91.
- MALINOWSKI J. 1977 – Wpływ neotektoniki na zmiany stosunków hydrogeologicznych Roztocza. *Kwart. Geol.*, 21: 49–58.
- MALINOWSKI J. 1993 – Warunki hydrogeologiczne Roztocza w świetle tektoniki. [W:] Harasimiuk M., Krawczuk J., Rzechowski J. (red.), *Tektonika Roztocza i jej aspekty sedimentologiczne, hydrogeologiczne i geomorfologiczno-krajobrazowe*. Wyd. WWP, Lublin–Lwów: 109–117.
- MARINELLI O. 1922 – Catene e creste parallele in Atlante dei tipi geografici. *Firenze, Istituto Geografico Militare*, 26: 1–20.
- MICHALCZYK Z. (red.) 1996 – Źródła Roztocza – monografia hydrograficzna. Wyd. UMCS, Lublin.
- MICHALCZYK Z., CHMIEL S., GŁOWACKI S., ZIELIŃSKA B. 2008 – Changes of springs' yield of Lublin Upland and Roztocze Region in 1998–2008. *Journal of Water and Land Development*, 12: 113–126.
- NARKIEWICZ M., DADLEZ R. 2008 – Geologiczna regionalizacja Polski – zasady ogólne i schemat podziału w planie podkenozoicznym i podpermskim. *Prz. Geol.*, 56 (5): 391–397.
- PAZDRO Z. 1983 – Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa, s. 575.
- POŻARYSKI W. 1974 – Obszar świętokrzysko-lubelski. [W:] *Budowa geologiczna Polski. IV. Tektonika. Cz. I*. Wydaw. Geol., Warszawa: 349–363.
- POŻARYSKI W. 1977 – The Caledonian, Variscan and Alpine Tectonic Epochs in the Epi Gothian Platform and Its Border Zone. [W:] *Geology of Poland. Tectonics*, 4: 351–416.
- PRZEMYSKI S., 1979 – Wielowarstwowość kredowego poziomu wodonośnego w regionie kredy lubelskiej. *Tech. Posz. Geol.*, 4: 19–21.
- ŚWIDROWSKA J., HAKENBERG M., POLUHTOYIĆ B., SEGHEDI A., VIŠNAKOV I. 2008 – Evolution of the Mesozoic basins on the southwestern edge of the East European Craton (Poland, Ukraine, Moldavia, Romania). *Stud. Geol. Pol.*, 130 (1): 3–130.
- WĄGROWSKI A. 1996 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Turobin (859). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- WĄGROWSKI A. 2001 – Objąsnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000, ark. Turobin (859). Wyd. Kartograficzne Polskiej Agencji Ekologicznej SA, Warszawa.
- WERNICKE B., AXEN G. 1988 – On the role of isostasy in the evolution of normal fault systems. *Geology*, 16: 848–851.
- ŻELAŻNIEWICZ A., ALEKSANDROWSKI P., BUŁA Z., KARNKOWSKI P.H., KONON A., OSZCZYPKO N., ŚLĄCZKA A., ŻABA J., ŻYTKO K. 2011 – Regionalizacja tektoniczna Polski. *Komitet Nauk Geologicznych PAN, Wrocław*, s. 60.