

Chemizm wód zlewni Kamieńczyka w Sudetach na tle badań systemów przepływu wód podziemnych

Magdalena Modelska¹, Sebastian Buczyński¹, Stanisław Staško¹

Chemical composition of groundwater of Kamieńczyk catchment area in Sudety Mts. in relation to groundwater flow systems.
Prz. Geol., 63: 950–954.

Abstract. The present study has shown that in small, mountainous Kamieńczyk catchment (Sudety Mts.) is possible to identify hydrodynamical conditions and chemical parameters typical for different zones of local groundwater flow systems: spring discharge, discharge variability, relationships between bicarbonate and sulphate ions, pH and silica contents. Furthermore regional flow zone was clearly chemically identified through high groundwater mineralization and strongly metamorphosed hydrogeochemical facies. This proves that studies of groundwater flow zones in mountain catchments can be effectively supported by chemical analysis of groundwater.

Keywords: chemical composition, groundwater, flow zones, Sudety Mts.

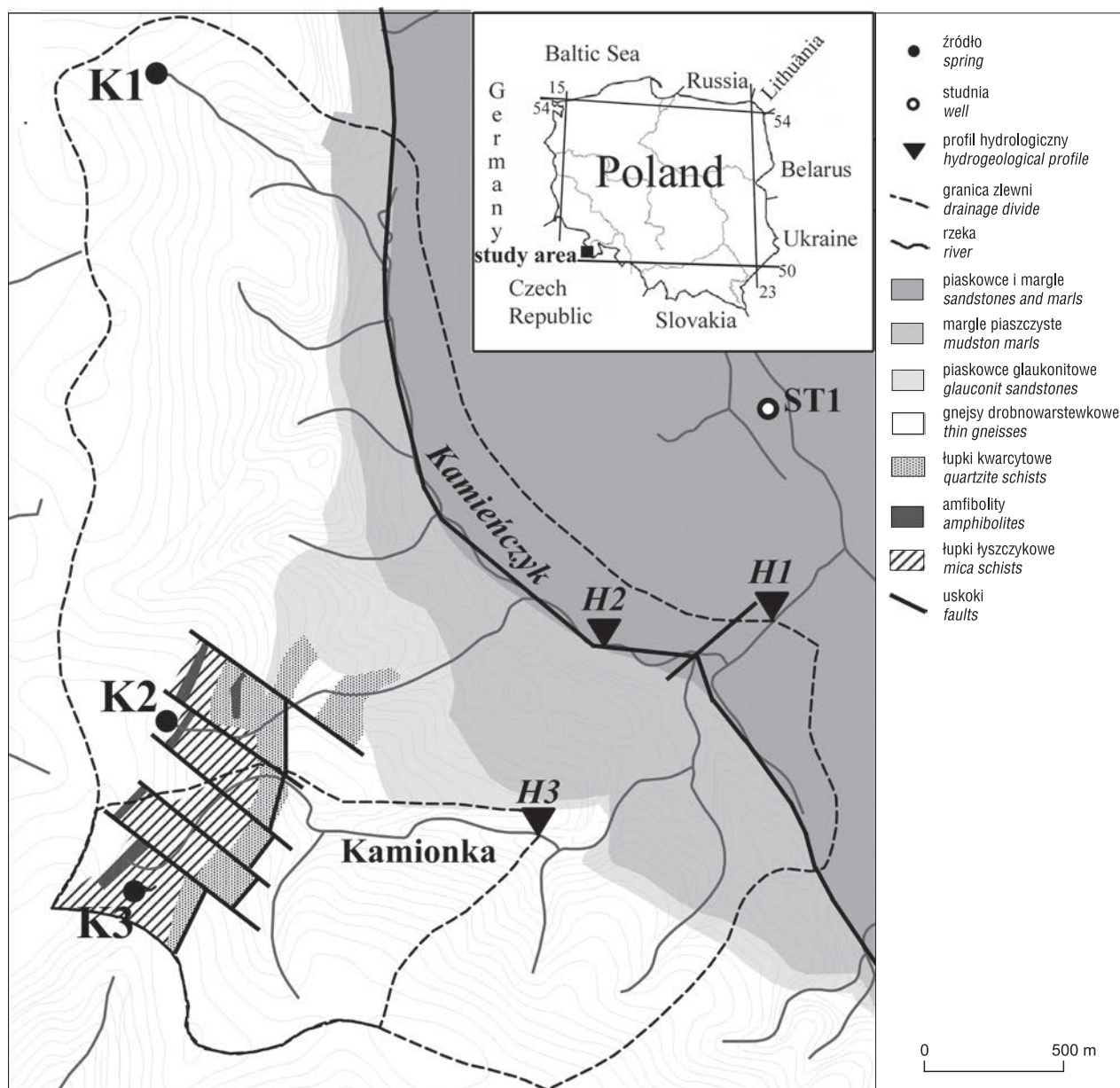
Jak dowodzą badania, w zlewniach o powierzchni do kilkuset kilometrów kwadratowych występuje głównie lokalny system przepływu, w którym przemieszcza się od 70 do 90% wód infiltrujących (Herbich, 1991; Dąbrowski i in., 2011). W przypadku małych zlewni górskich o skomplikowanej budowie geologicznej powyższa teza nie zawsze znajduje pełne odzwierciedlenie w pomiarach terenowych. Odmienne litologicznie skały, zaangażowanie tektoniczne, nieciągłe, zróżnicowane strefy wodonośne, przepływy przez granice zewnętrzne zlewni oraz zasilanie z głębszych poziomów wodonośnych sprawiają, że poszczególne systemy przepływu mieszają się ze sobą, tworząc złożony i współzależny system. Jednocześnie o wielkości zasobów decyduje głównie lokalny system przepływu. Stosunkowo niewielka ilość wód biorąca udział w przepływie regionalnym, jest odpowiedzialna za zasilanie głębokich poziomów wodonośnych i jest drenowana przez głębokie studnie, największe rzeki i zbiorniki wodne lub niektóre źródła z wodami termalnymi, mineralnymi i swoistymi. Na podstawie 9-letnich obserwacji prowadzonych w zlewni Kamieńczyka zaobserwowano źródła różniące się wskaźnikiem zmienności, amplitudą temperatury, pH i PEW oraz obszary o zróżnicowanym zawodnieniu (Buczyński & Staško, 2015). Obserwacje te dowodzą, że w lokalnym systemie przepływu można wydzielić kilka składowych zasilania, które determinują reżim wypływów i odzwierciedlają zasilanie z pokryw zwietrzelinowych lub ze stref uprzywilejowanych, powstałych dzięki systemom korzeniowym i/lub sieci płytko występujących spękań i uskoków. Celem badań było rozpoznanie, czy w małych zlewniach górskich o dużej deniwelacji oraz szybkim przepływie wód, poszczególnym składowym lokalnego systemu przepływu oraz systemom: przejściowemu i regionalnemu towarzyszy zmiana właściwości chemicznych wód podziemnych oraz czy użycie analiz hydrogeochemicznych pozwoli wydzielić wskaźniki wód, typowe dla poszczególnych składowych lokalnego systemu przepływu. Zidentyfikowanie tych wskaźników stanowiłoby cenne wsparcie w określaniu form zasilania poszczególnych przejawów zawodnienia.

OBSZAR BADAŃ

Zlewnia Kamieńczyka o powierzchni 7,85 km² (ryc. 1), położona w Górach Bystrzyckich (Sudety, SW Polska), należy do zlewni górskich charakteryzujących się wysoką prędkością przepływu i dużymi rocznymi wahaniami stanów wód (Błachuta i in., 2005). Spadek działu wodnego i doliny rzecznej jest wysoki i wynosi odpowiednio 0,022 i 0,081 m/m. Średnia wysokość opadów atmosferycznych z wielolecia 1891–1930 na najbliższym posterunku (Międzyzylesie) wynosiła 917 mm, a w roku hydrologicznym 2013 – 863 mm. Górna część zlewni (powyżej rzędnej 550–600 m n.p.m.) jest zbudowana z drobnoziarnistych gnejsów (ryc. 1). Występują również niewielkie wychodnie amfibolitów oraz łupków łyszczykowych i kwarcytowych (Sawicki, 1995; Szczepański, 2010). W dolnej części zlewni dominują natomiast zwięzłe skały osadowe wykształcone w postaci piaskowców i margli piaszczystych (Don & Wojewoda, 2004; Badura & Rauch, 2014). W zlewni Kamieńczyka, podobnie jak w innych zlewniach zbudowanych ze skał krystalicznych i zwięzłych skał osadowych, istotnym elementem są strefy tektoniczne pozostające w kontakcie hydraulicznym z lokalnymi uskokami i spękanym masywem skalnym (Pacheco & Alencão, 2002; Earman i in., 2008; Gargini i in., 2014). Uskoki i spękania stanowią drogi uprzywilejowanego przepływu i znacznych dopływów w dolinach rzecznych. Dolina potoku Kamieńczyk w jego górnej części jest założona na licznych strefach tektonicznych złożonych z uskoków przebiegających poprzecznie lub skośnie do biegu doliny (ryc. 1).

W wodonościach obszarów krystalicznych Sudetów wyróżnia się od 2 do 4 stref wodonośnych (Wojtkowiak, 2000). W 2002 r. Staško zaproponował (dla obszaru Sudetów) podział pionowego profilu skał krystalicznych na trzy strefy wodonośne o różnych właściwościach filtracyjnych, czasach reakcji zwierciadła wód podziemnych na opad atmosferyczny oraz warunkach zasilania i drenażu. Z najpłytszą strefą utożsamiane są gliny zwietrzelinowe występujące na powierzchniach zrównań i stokach szczytowych

¹ Zakład Hydrogeologii Podstawowej, Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, Pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław; magdalena.modelska@uwr.edu.pl, sebastian.buczynski@uwr.edu.pl, stanislav.stasko@uwr.edu.pl.



Ryc. 1. Obszar badań wraz z lokalizacją opróbowanych punktów
Fig. 1. Study area with location of sampling points

partii obszaru. Strefa ta charakteryzuje się wysoką pojemnością wodną (współczynnikiem odsączalności) i niskim współczynnikiem wodoprzepuszczalności ($\mu = 0,18$; $k = 0,1$ m/d). Jej średnia miąższość m wynosi ok. 2–5 m. Poniżej występują gęsto spękane skały o wyższej wodoprzewodności i niskiej pojemności (należące do strefy drugiej: $m = 10–50$ m, $\mu = 0,008–0,050$, $k = 1$ m/d). Strefa trzecia to głębokie uskoki tworzące drogi wgłębego krążenia wód o znaczeniu regionalnym. Pojemność oraz przepuszczalność skał związana z tą strefą jest najniższa ($m = 100–500$ m, $\mu = 0,0001–0,0010$, $k = 0,001–0,100$ m/d).

METODY BADAŃ

23 października 2013 r. w ramach kartowania hydrogeologicznego (niskie stany) przeprowadzono pomiary hydrodynamiczne, fizyczno-chemiczne oraz pobrano próbki wód podziemnych i powierzchniowych w zlewni ciek

Kamieńczyk. Punkty badawcze wybrano tak, aby reprezentowały wyznaczone badaniami hydrodynamicznymi różne systemy przepływu wód (Buczyński & Staško, 2015). Założono, że źródła oraz cieki reprezentują lokalne systemy przepływu, natomiast studnia artezyjska o głębokości 728 m reprezentuje system regionalny, z możliwym oddziaływaniem systemu lokalnego i przejściowego.

Badania obejmowały: terenowe pomiary wydajności źródeł (metoda wolumetryczna), przepływu w ciekach (młynek hydrogeologiczny), pomiar temperatury, przewodnictwa elektrolitycznego właściwego, pH (miernik wieloparametryczny Elmetron CX 400) oraz pobór próbek wody. Analizy chemiczne wód, wykonane w Pracowni Geologii Środowiskowej Instytutu Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego, obejmowały oznaczenia jonów Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} (metoda chromatograficzna – HPLC Waters Alliance), HCO_3^- (metoda miareczkowania), SiO_2 (metoda spektro-

fotometryczna – HACH 2000/DX). Przybliżone wartości mineralizacji ogólnej wód uzyskano przez zsumowanie stężeń składników jonowych.

WYNIKI I Dyskusja

Przepliw lokalny

Wody lokalnego systemu przepływu wód podziemnych w zlewni Kamieńczyka, reprezentowane przez źródła i cieki, charakteryzowały się bardzo niską mineralizacją ogólną (36–84 mg/dm³), słabo kwaśnym lub obojętnym odczynem (5,75–7,12) oraz dominacją jonów: HCO₃⁻, SO₄²⁻, Ca²⁺ oraz Na⁺ (tab. 1). Jest to typowe dla zlewni górskich, w których przepływ wód następuje szybko, a procesy wywołujące na jego drodze zmiany składu chemicznego wód są mało intensywne. Przekłada się to na przewagę składowej opadowej (Na⁺, SO₄²⁻) w składzie chemicznym wód (Modelska i in., 2014). Jednocześnie skład badanych wód wykazuje pewne cechy umożliwiające, na podstawie obserwacji hydrodynamicznych, wydzielenie z nich populacji reprezentatywnych dla poszczególnych składowych systemu lokalnego. Analizując kompleksowo wydajność źródeł, wysokość położenia, przebieg stref dyslokacyjnych oraz skład chemiczny wód, możliwe jest rozdzielanie badanych form drenażu wód podziemnych na dwie odrębne grupy. Źródła K1 i K3 (ryc. 1), reprezentujące strefę wododziałową, najwyższą w badanej zlewni, charakteryzowały się najniższymi, ale stałymi wydajnościami (Buczyński & Staško, 2015), niskim odczynem (<6,00) oraz typem hydrogeochemicznym z wyraźną dominacją jonu siarczanowego i najwyższą spośród badanych wód zawartością rozpuszczonej krzemionki (tab. 1, ryc. 2). Wody źródła K2, położonego w strefie uskokuwej (duże wydajności i duża zmienność wydajności) oraz wód z cieków (reprezentujące niższe partie zlewni), wykazywały z kolei odczyn zbliżony do obojętnego (6,40–7,12) oraz typ hydrogeochemiczny z wyraźną dominacją jonu wodorowęglanowego (tab. 1, ryc. 2). Sugeruje to, że mimo pozornej jednorodności, stężenia i wzajemne stosunki pozostałych badanych wskaźników chemicznych nie wykazują systematycznej zmienności, wszystkich badanych wód, istnieje zróżnicowanie chemiczne umożliwiające przyporządkowanie ich do dwóch odrębnych składowych przepływu lokalnego – A i B (tab. 2).

Hydrochemiczne kryteria takiego rozdzielania wydają się uzasadnione w świetle innych badań składu chemicznego wód podziemnych zlewni górskich w Sudetach, gdzie wzajemne stosunki jonów siarczanowych i wodorowęglanowych, odczyn oraz zawartość krzemionki uznawano za kryteria wydzielenia stref i systemów przepływu (Modelska & Buczyński, 2007; Stępień i in., 2007, Rzonca & Buczyński, 2009; Modelska i in., 2014). Szczególnie dominacja jonów siarczanowych i podwyższone stężenia krzemionki są utożsamiane z najpłytszą, aktywną biologicznie strefą zwietrzliny lub z najkrótszymi czasami przepływu wód w zlewniach zbudowanych ze skał krystalicznych (Modelska & Buczyński, 2007; Szykiewicz i in., 2008). Wraz ze wzrostem długości czasu przepływu wód przez środowisko skalne, na skutek procesów buforowych wzrasta odczyn wód i stężenie jonów wodorowęglanowych. Wydzielona składowa A, związana z najwyższymi partiami zlewni, może być utożsamiana z wodami o najkrótszym czasie przepływu, drenującymi wyłącznie strefę zwietrzelin. Składowa B reprezentuje natomiast wody o dłuższym czasie przepływu, dopływające z systemu matrycy skalnej, sieci drobnych spękań i lokalnych uskoków.

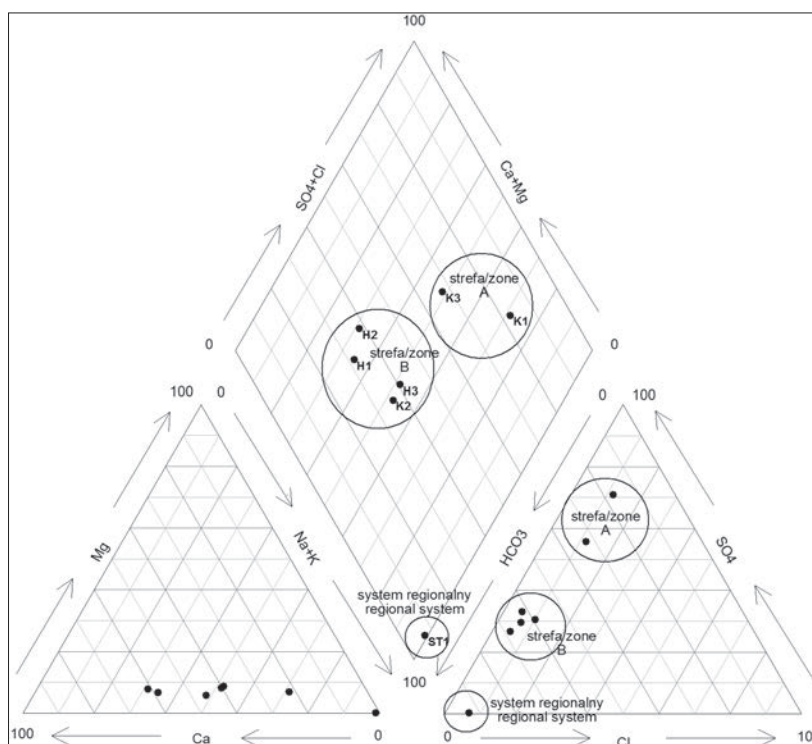
Przepliw regionalny

Studnia artezyjska ST1 (ryc. 1) o głębokości 737 m, zlokalizowana w najniższej partii zlewni, charakteryzowała się wodą o mineralizacji ogólnej 1648 mg/dm³, słabo zasadowym odczynie i typie hydrogeochemicznym HCO₃-Na oraz niezawierającą podwyższonych stężeń wolnego dwutlenku węgla (tab. 3, ryc. 2). W czasie wykonywania odwiertu (lata 1982–83) opróbowano wody z utworów kredy oraz paleozoicznego podłoża z głębokości: 94, 170, 480 i 737 m (Mroczkowska, 1995). Wyniki archiwalnych analiz chemicznych wykazują, że od głębokości co najmniej 170 m w studni ST1 stwierdzono występowanie wód mineralnych (mineralizacja ok. 1500 mg/dm³), typu HCO₃-Na. Ich skład chemiczny nie uległ więc zmianom w ciągu 30 ostatnich lat. Specyficzny skład chemiczny wód ujmowanych tą studnią jest typowy dla wód głębokiej, regionalnej strefy uskoku. Jednocześnie odbiega on od składu chemicznego najbliższych im przestrzennie wód m.in. z Długopola Dolnego, Bystrzycy Kłodzkiej, Nowej

Tab. 1. Wydajności oraz wskaźniki fizyczno-chemiczne wód lokalnego systemu przepływu w zlewni Kamieńczyka (wyniki z 23 października 2013 r.)

Table 1. Discharges and physico-chemical indicators of the local groundwater flow system in the Kamieńczyk catchment (results from 23 October 2013)

Symbol Symbol	Punkt Point	Q [dm ³ /s]	pH [-]	PEW/EC [μS/cm]	T [°C]	M _{og} /M _{tot} [mg/dm ³]	HCO ₃ ⁻ [mg/dm ³]	SO ₄ ²⁻ [mg/dm ³]	Cl ⁻ [mg/dm ³]
K1	źródło	0,08	5,75	76,5	3,4	36	4,88	15,77	1,93
K2	źródło	0,65	6,40	66,4	4,2	54	24,41	8,95	1,46
K3	źródło	0,03	5,80	114	6,5	74	15,24	20,61	3,17
H1	ciek	48,6	7,12	114,3	3,5	86	41,49	12,79	1,76
H2	ciek	22,5	7,02	98,3	3,0	72	32,34	13,68	1,54
H3	ciek	17,4	6,90	86	4,3	64	24,41	9,9	2,40
Symbol Symbol	Ca ²⁺ [mg/dm ³]	Mg ²⁺ [mg/dm ³]	Na ⁺ [mg/dm ³]	K ⁺ [mg/dm ³]	NO ₃ ⁻ [mg/dm ³]	NO ₂ ⁻ [mg/dm ³]	NH ₄ ⁺ [mg/dm ³]	PO ₄ ³⁻ [mg/dm ³]	SiO ₂ [mg/dm ³]
K1	2,25	0,44	7,96	0,65	2,03	0,07	<0,01	<0,01	10,7
K2	6,11	0,83	7,91	1,84	2,23	0,13	<0,01	<0,01	10,1
K3	10,03	0,79	11,02	1,59	11,75	0,18	<0,01	<0,01	14,6
H1	13,51	0,93	7,87	1,66	5,58	0,18	<0,01	<0,01	9,7
H2	11,77	0,93	6,16	0,97	4,56	0,13	0,14	<0,01	8,8
H3	7,46	0,92	8,38	3,44	7,29	0,16	<0,01	<0,01	9,4



Ryc. 2. Skład chemiczny wód zlewni Kamieńczyka na diagramie Piper'a (wyniki z 23 października 2013 r.)

Fig. 2. The chemical composition of water in the Piper diagram (Kamieńczyk catchment) (results from 23 October 2013)

Bystrzyca czy Dusznik Zdrój (Paczyński & Sadurski, 2007). Woda najpłytszego ujętego poziomu wodonośnego (na głębokości 94 m) powinna w tej studni wykazywać skład chemiczny typowy dla systemu przejściowego, który sięga ok. 100 m (za: Staško, 2002). Analiza chemiczna z czerwca 1982 roku (Mroczkowska, 1995) wykazała co prawda niższą o połowę mineralizację tych wód (sucha pozostałość 420 mg/dm³), jednak wody te należały do typu HCO₃-Na, co może świadczyć o tym, że dopływ wód mineralnych, utożsamiany z systemem przepływu regionalnego, jest obecny w rejonie badań na niewielkich głębokościach i to on determinuje skład chemiczny wód podziemnych systemu przejściowego. Wody ujmowane

studnią ST1 niewątpliwie wymagają pogłębionych badań hydrochemicznych, szczególnie izotopowych, w celu oceny genezy tych wód.

WNIOSKI

Studia nad systemami przepływu wód podziemnych w zlewniach górskich mogą być skutecznie wspierane analizą hydrogeochemiczną. Prezentowane badania wykazały, że nawet przy niewielkiej liczbie wyników analiz chemicznych możliwe jest zidentyfikowanie wskaźników wód, typowych dla poszczególnych składowych lokalnych systemów przepływu w zlewniach górskich o szybkiej wymia-

Tab. 2. Charakterystyka składowych lokalnego systemu przepływu wód
Table 2. Components characteristics of local groundwater flow system

	System lokalny <i>Local system</i>	
	składowa A <i>component A</i>	składowa B <i>component B</i>
Punkty <i>Points</i>	K1, K3	K2, H1, H2, H3
Wydajność Przeływ [dm ³ /s] <i>Spring discharge</i> <i>Flow rate</i>	mała / <i>small</i> (0,03–2,80)	K2 – duża / <i>high</i> (0,56–9,14) H – (3,8–3693,0)
Zmienność wydajności przepływu <i>Discharge variability index</i>	mało zmienne <i>less variable</i>	K2 – zmienne / <i>variable</i> H – bardzo zmienne / <i>very variable</i>
Średni odczyn <i>Average pH</i>	5,80	6,90
Typ hydrogeochemiczny <i>Hydrogeochemical facies</i>	SO ₄ -HCO ₃ -Na-Ca SO ₄ -HCO ₃ -Ca-Na	HCO ₃ -SO ₄ -Ca-Na HCO ₃ -SO ₄ -Na-Ca
Średnia zawartość SiO ₂ [mg/dm ³] <i>Average content of SiO₂</i>	12,7	9,5

Tab. 3. Stężenia wskaźników fizyczno-chemicznych wód studni ST1 (wyniki z 23 października 2013 r.)
Table 3. Concentrations of physical and chemical indicators of wells ST1 (results from 23 October 2013)

Symbol Symbol	Punkt Point	pH [-]	PEW/EC [µS/cm]	T [°C]	M _{mg} /M _{tot} [mg/dm ³]	HCO ₃ ⁻ [mg/dm ³]	SO ₄ ²⁻ [mg/dm ³]	Cl ⁻ [mg/dm ³]
ST1	studnia well	8,82	1600	11	1648	1086,16	4,06	45,35
Ca ²⁺ [mg/dm ³]	Mg ²⁺ [mg/dm ³]	Na ⁺ [mg/dm ³]	K ⁺ [mg/dm ³]	NO ₃ ⁻ [mg/dm ³]	NO ₂ ⁻ [mg/dm ³]	NH ₄ ⁺ [mg/dm ³]	PO ₄ ³⁻ [mg/dm ³]	SiO ₂ [mg/dm ³]
4,35	0,33	501,19	2,8	3,37	0,08	<0,01	<0,01	5,6

nie wód. Są nimi głównie wzajemne relacje anionów, odczyn oraz stężenia krzemionki. Wydzielono dwie składowe lokalnego systemu przepływu wód podziemnych. Pierwszą z nich reprezentują wody wypływające w mało zmiennych źródłach o niskiej wydajności, charakteryzujące się odczynem poniżej 6, stężeniami krzemionki powyżej 12 mg/dm³ i dominacją jonu siarczanowego. Druga składowa jest reprezentowana przez wody w ciekach i źródłach o dużej wydajności i wysokim wskaźniku zmienności wydajności. Wody tej składowej charakteryzują się obójnym odczynem wód, stężeniami krzemionki poniżej 10 mg/dm³ i dominacją jonu wodorowęglanowego. Dopływ systemu regionalnego na obszarze badań są wyraźnie identyfikowane chemicznie przez wysoką mineralizację wód i ich silnie przeobrażony typ chemiczny (HCO₃-Na). Wody te powinny zostać objęte kompleksowymi badaniami izotopowymi.

Badania zrealizowano w ramach grantu Narodowego Centrum Nauki nr DEC-2011/01/B/ST10/05121. Dane na temat wysokości opadów atmosferycznych pochodziły z sieci obserwacyjnej IMGW.

LITERATURA

BADURA J. & RAUCH M. 2014 – Tectonics of the Upper Nysa Kłodzka Graben, the Sudetes. *Geologia Sudetica*, 42: 137–148.
 BŁACHUTA J., PICIŃSKA-FALTYNOWICZ J., CZOCH K. & KULESZA K. 2005 – Topologia wód płynących w Polsce. [W:] Wdrażanie Ramowej Dyrektywy Wodnej: Ocena Stanu Ekologicznego Wód w Polsce, 7–9.12.2005 r., Łódź.
 BUCZYŃSKI S. & STAŠKO S. 2015 – Groundwater flow systems and the conditions of the formation of groundwater resources in crystalline and sedimentary rocks of the Eastern Sudety Mountains – base on research in Kamieńczyk catchment. *Episodes* [w druku].
 DĄBROWSKI S., KAPUŚCIŃSKI J., NOWICKI K., PRZYBYŁEK J. & SZCZEPAŃSKI A. 2011 – Metodyka modelowania matematycznego w badaniach i obliczeniach hydrogeologicznych, Poznań.
 DON J. & WOJEWODA J. 2004 – Tektonika rowu górnej Nysy Kłodzkiej – sporne problemy. *Prz. Geol.*, 9: 883–886.

EARMAN S., MCPHERSON B.J.O.L., PHILLIPS F.M., RALSER S., HERRIN J.M. & BROSKA J. 2008 – Tectonic influence on ground water quality: insight from complementary methods. *Ground Water* 46 (3): 354–371.
 GARGINI A., DE NARDO M.T., PICCINI L., SEGADELLI S. & VINCEZI V. 2014 – Spring discharge and groundwater flow system in sedimentary and ophiolitic hard rock aquifers: Experiences from Northern Appennines (Italy). [W:] John M. & Shapr Jr. (red.), *Fractured Rock Hydrogeology*. Selected papers on hydrogeology 20, IAH: 129–146.
 HERBICH P. 1991 – Ocena przewodności wodnej i odsączalności metodą analizy regresji odpływu podziemnego, *Współ. Problemy Hydrogeologii*, Wyd. SGGW-AR: 229–235.
 MROCZKOWSKA B. 1995 – Atlas hydrogeochemiczny kredy niecki śródsudeckiej i rowu Nysy Kłodzkiej. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
 MODELSKA M. & BUCZYŃSKI S. 2007 – Zastosowanie analizy czynnikowej w badaniach hydrochemicznych wybranych zlewni sudeckich, *Prz. Geol.*, 55 (4): 319–323.
 MODELSKA M., BUCZYŃSKI S., WCISŁO M. & KASPERCZYK L. 2014 – Study on flow zones in Sudety Mountains (Poland) – preliminary results of hydrochemical research in 4 experimental catchments. 10th International Hydrogeological Congress: 505–513.
 PACHECO FAL. & ALENCOÃO A.M.P. 2002 – Occurrence of springs in massifs of crystalline rocks, northern Portugal. *Hydrogeol. J.*, 10: 239–253.
 PACZYŃSKI B. & SADURSKI A. (red.) 2007 – Hydrogeologia regionalna Polski – tom II. Wody mineralne. lecznicze i termalne oraz kopalniane. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
 RZONCA B. & BUCZYŃSKI S. 2009 – Water mixing processes within a crystalline masif: Sudety mountains, SW Poland. *Hydrology Research*, 40 (1): 53–64.
 SAWICKI L. 1995 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Sudetów w skali 1 : 25 000, ark. 962B Międzyzlesie. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
 STAŠKO S. 2002 – Zawodnienie szczelinowych skał krystalicznych w Sudetach. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 404: 249–262.
 STĘPIEŃ M., MODELSKA M. & BUCZYŃSKI S. 2007 – Factor analysis as an example of qualitative and quantitative method for modeling of hydrogeochemical processes, Selected hydrogeologic problems of the Bohemian Massif and of other hard rock terrains in Europe. *Acta Universitatis Wratislaviensis No. 3041, seria: Hydrogeologia*, Wyd. UWroc., Wrocław: 151–160.
 SZCZEPAŃSKI J. 2010 – Prowienienca i ewolucja tektonometamorficzna serii suprakrustalnej w krystaliniku Gór Bystrzyckich. UWroc., Wrocław: Drukarnia Naukowa PAN, Wrocław.
 SZYNKIEWICZ A., MODELSKA M., JĘDRYSEK M.O. & MASTALERZ M. 2008 – Altitude effect for δ34S – δ18O of sulfate and its content in the surface and groundwaters – the example from the crystalline massif of the Sudety Mountains, Poland., *Chemical Geology* 249: 36–51.
 WOJTKOWIAK A. 2000 – Reżim źródeł obszarów krystalicznych Sudetów Zachodnich. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 390: 167–206.