

## HYDROGEOLOGICZNA CHARAKTERYSTYKA ŹRÓDEŁ W ZLEWNI RZEKI PŁAWNEJ (ZIEMIA KŁODZKA)

### HYDROGEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SPRINGS IN THE PŁAWNA RIVER CATCHMENT (KŁODZKO LAND)

AGATA MICKIEWICZ<sup>1</sup>

**Abstrakt.** W artykule przedstawiono hydrogeologiczną charakterystykę źródeł w zlewni rzeki Pławnej na tle budowy geologicznej i geomorfologii obszaru, określoną na podstawie kartowania hydrogeologicznego, okresowych obserwacji wybranych źródeł oraz analizy fizykochemicznej wód źródłanych. Uzyskano wartość wskaźnika krenologicznego równą 1,33, a moduł odpływu krenologicznego określono na 0,69 l/s·km<sup>2</sup>. Na podstawie analizy regresji wydajności źródeł obliczono współczynniki regresji zawierające się w przedziale od 0,010 do 0,028 oraz potencjały zasobności badanych stref wodonośnych w granicach 2,42–10,12 tys. m<sup>3</sup>.

**Słowa kluczowe:** źródła, odpływ krenologiczny, zlewnia Pławnej, ziemia kłodzka.

**Abstract.** The paper presents hydrogeological characteristics of springs in the Pławna river catchment against the geological background and geomorphology, based on hydrogeological mapping, periodical spring observations and physicochemical analysis of spring water. Spring density index is equal to 1.33. Total spring discharge comes up to 0.69 l/s·km<sup>2</sup>. On the basis of springs discharge regression analysis, regression coefficients (0.010–0.028) and capacity potentials of examined aquifers (2,420–10,120 m<sup>3</sup>) were estimated.

**Key words:** springs, spring discharge, Pławna river catchment, Kłodzko Land.

## WSTĘP

Zagadnienia dotyczące warunków występowania wód podziemnych na obszarze ziemi kłodzkiej oraz ich właściwości fizykochemicznych wielokrotnie poruszano w polskiej literaturze. Wiele badań prowadzono na obszarze rowu górnej Nysy Kłodzkiej oraz w otaczających go pasmach Gór Orlickich, Bystrzyckich, Bialskich, Złotych, a także na Masywie Śnieżnika i w paśmie górskim Krowiarek (m.in. Kowalski, 1975; Kryza, 1983; Staśko, 1996, 2010; Tarka, 1997, 2006; Staśko, Tarka, 2002; Bocheńska i in., 2003; Modelska i in., 2005; Olichwer, 2007; Rysiukiewicz, 2010). W Zakładzie Hydrogeologii Podstawowej Instytutu Nauk

Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego obecnie powstaje baza danych o źródłach ziemi kłodzkiej, systematycznie uzupełniana danymi pochodzącymi z prac badawczych prowadzonych na tym terenie od ponad 20 lat.

Zlewnia rzeki Pławnej jest pod względem hydrogeologicznym i hydrogeochemicznym jednym ze słabiej rozpoznanych terenów ziemi kłodzkiej. Podstawowych informacji na temat warunków hydrogeologicznych na jej obszarze dostarczają przede wszystkim badania naturalnych wpływów wód podziemnych. W artykule przedstawiono, przeprowadzoną po raz pierwszy, krenologiczną charakterystykę tego

<sup>1</sup> Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, Zakład Hydrogeologii Stosowanej, Pl. Maksa Borna 9, 50-204 Wrocław;  
e-mail: agata.mickiewicz@ing.uni.wroc.pl

obszaru w nawiązaniu do budowy geologicznej oraz geomorfologii terenu, a także zaprezentowano zebrane dane dotyczące reżimu hydrogeologicznego źródeł oraz właściwości

fizykochemicznych wód źródłanych. Pozyskane informacje będą wykorzystane do uzupełnienia bazy danych o źródłach ziemi kłodzkiej.

## CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Zlewnia rzeki Pławnej ma powierzchnię 26,3 km<sup>2</sup> i jest położona na pograniczu Sudetów Środkowych i Wschodnich. Obejmuje fragmenty dwóch jednostek geograficznych: Kotliny Kłodzkiej i Masywu Śnieżnika.

Morfologia terenu badań została ukształtowana w wyniku procesów podnoszenia Masywu Śnieżnika, zapoczątkowanych w kredzie górnej i trwających z różnym natężeniem przez cały paleogen i neogen, a następnie przez liczne procesy wietrzeniowe i erozyjne związane ze zlodowaceniami południowopolskimi w plejstocenie (Sroka, 1997). Najwyżej położonym punktem w zlewni jest Czarna Góra (1205 m n.p.m.), a punkt położony najniżej (ok. 350 m n.p.m.) znajduje się przy ujściu rzeki Pławnej do Nysy Kłodzkiej w miejscowości Bystrzyca Kłodzka.

Rozpatrywany obszar leży w dorzeczu Odry. Rzeka Pławna jest prawostronnym dopływem Nysy Kłodzkiej i ma

około 14 km długości. Jej górny bieg tworzą dwa potoki o typowo górskim charakterze: Biała Woda i Szklarzynka.

Na warunki klimatyczne w zlewni Pławnej mają wpływ przede wszystkim duża różnica wysokościowa z deniwelacjami przekraczającymi 800 m oraz urozmaicona morfologia terenu. Temperatura powietrza jest zależna od wysokości nad poziomem morza, dlatego temperatury rejestrowane w Masywie Śnieżnika są średnio o 5–6°C niższe niż w centrum Kotliny Kłodzkiej (Migoń, 2001). Najcieplejszym miesiącem na tym obszarze jest lipiec, a najzimniejszym – styczeń. Średnia roczna temperatura waha się w granicach 6–7,8°C. Roczny przebieg opadów na obszarze badań ma cechy kontynentalne, z maksymalnymi opadami w lipcu i minimalnymi w lutym. Pomiary z lat 1970–2000 wskazują, że średnia roczna suma opadów w rowie górnej Nysy Kłodzkiej wynosi 720 mm, a w Masywie Śnieżnika – 959 mm (Olichwer, 2007).

## BUDOWA GEOLOGICZNA

Zachodnia i środkowa część rozpatrywanego terenu to śródgórskie obniżenie rowu górnej Nysy Kłodzkiej, a wschodni fragment jest położony w Masywie Śnieżnika, przechodzącym ku północy w płaskie pasmo Krowiarek. Od rowu górnej Nysy Kłodzkiej masyw ten oddziela wyraźny próg morfologiczny przebiegający wzdłuż linii uskoku tektonicznego (fig. 1).

Pod względem geologicznym obszar badań znajduje się w obrębie trzech zróżnicowanych litologicznie i wiekowo jednostek strukturalnych. Na wschodzie są to skały krystaliczne Masywu Śnieżnika (fig. 1), reprezentowane przez ortognejsy śnieżnickie i migmatyczne gnejsy gierałtowskie o wieku kambr – wczesny ordowik (488–522 mln lat), zme-

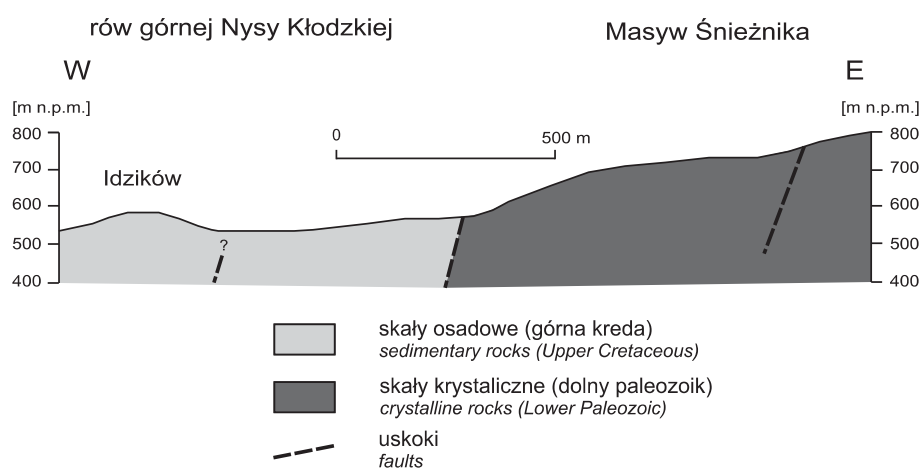


Fig. 1. Schematyczny równoleżnikowy przekrój geologiczny w miejscu kontaktu rowu górnej Nysy Kłodzkiej i Masywu Śnieżnika (wg Don, Wojewoda, 2004)

Schematic latitudinal cross-section at the contact of Upper Nysa Kłodzka Graben and Śnieżnik Massif (after Don, Wojewoda, 2004)

tamorfizowane ok. 340 mln lat temu (Żelaźniewicz, 2003). Tworzą one struktury fałdowe o niemal południkowym biegu elementów skalnych. Cały blok krystaliczny jest pocięty systemami dyslokacji o przebiegu SE–NW, które tworzą zarówno zręby, jak i rowy.

Środkowa i zachodnia część terenu badań znajduje się w rowie górnej Nysy Kłodzkiej, który jest wypełniony osadami kredy górnej (fig. 1) wykształconymi w facji piaszczysto-ilasto-marglistej. Środowiskiem ich sedimentacji było płytkie morze szelfowe, którego transgresja rozpoczęła się w cenomanie (Chrzastek, Wojewoda, 2011). Można tutaj

wyróżnić dwie różnowiekowe serie: margle i piaskowce (cenoman – środkowy turon) oraz ily idzikowskie, piaskowce i konglomeraty (górnny turon – koniak) (Don i in., 2003).

Na całym obszarze zalega nieciągła pokrywa osadów czwartorzędowych w postaci plejstocenijskich żwirów, piasków i iłków oraz holocenijskich piasków, żwirów i mułków. Pokrywa powstała w wyniku procesów akumulacji rzecznej, wietrzenia i procesów stokowych oraz dwukrotnej transgresji lądolodu w czasie zlodowaceń południowopolskich na obszar Kotliny Kłodzkiej (Badura, Przybylski, 1998).

## WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Wody podziemne w zlewni Pławnej występują zarówno w czwartorzędowych utworach pokrywowych, osadach kredy górnej, jak i w dolnopaleozoicznych skałach krystalicznych, tworząc systemy krążenia zróżnicowane głębokościowo. Czwartorzędowe piętro wodonośne ogranicza się do doliny rzeki Pławnej oraz jej dopływów. Wody tego piętra występują w plejstocenijskich żwirach i piaskach terasów na głębokości 4–6 m oraz w osadach deluwalnych i w rumoszu skalnym na głębokości 1–3 m (Olichwer, 2007). Charakteryzują się one zwierciadłem swobodnym i są ujmowane studniami kopanymi. W niektórych wsiach (Idzików) stanowią jedyne źródło zaopatrzenia w wodę pitną (Mroczkowska, 1997).

Główne kredowe warstwy wodonośne w zlewni Pławnej to piaskowce, tworzące dwa poziomy – dolny (dolny cenoman) i górny (środkowy i górny turon oraz koniak), o cha-

rakterze szczelinowo-porowym. Poziomy te są izolowane od siebie mniej przepuszczalnymi warstwami ilastymi i marglistymi. Wody podziemne w marglach i iłowcach mają charakter szczelinowy. Zasilanie kredowego piętra wodonośnego odbywa się poprzez infiltrację wód opadowych na wychodniach, a w mniejszym stopniu poprzez przesączanie z wyżej leżących utworów czwartorzędowych (Mroczkowska, 1997).

W skałach krystalicznych wody gromadzą się przede wszystkim w systemach spękań i strefach uskokowych, a także w pokrywach zwietrzelinowych, tworząc wspólny system krążenia (Staśko, Tarka, 2002). Dolnopaleozoiczny zbiornik we wschodniej części zlewni Pławnej stanowi główne piętro użytkowe. Hydrogeologiczne rozpoznanie głębszych poziomów w skałach metamorficznych jest bardzo słabe (Mroczkowska, 1997).

## METODY BADAŃ

Na podstawie materiałów archiwalnych oraz własnych badań terenowych i laboratoryjnych przedstawiono charakterystykę hydrogeologiczną źródeł oraz sformułowano wnioski na temat reżimu wypływów na badanym obszarze. Badania terenowe, na które składały się: kartowanie hydrogeologiczne, okresowe obserwacje źródeł oraz jednorazowa analiza chemiczna wód podziemnych, prowadzono od sierpnia 2010 r. do maja 2011 r.

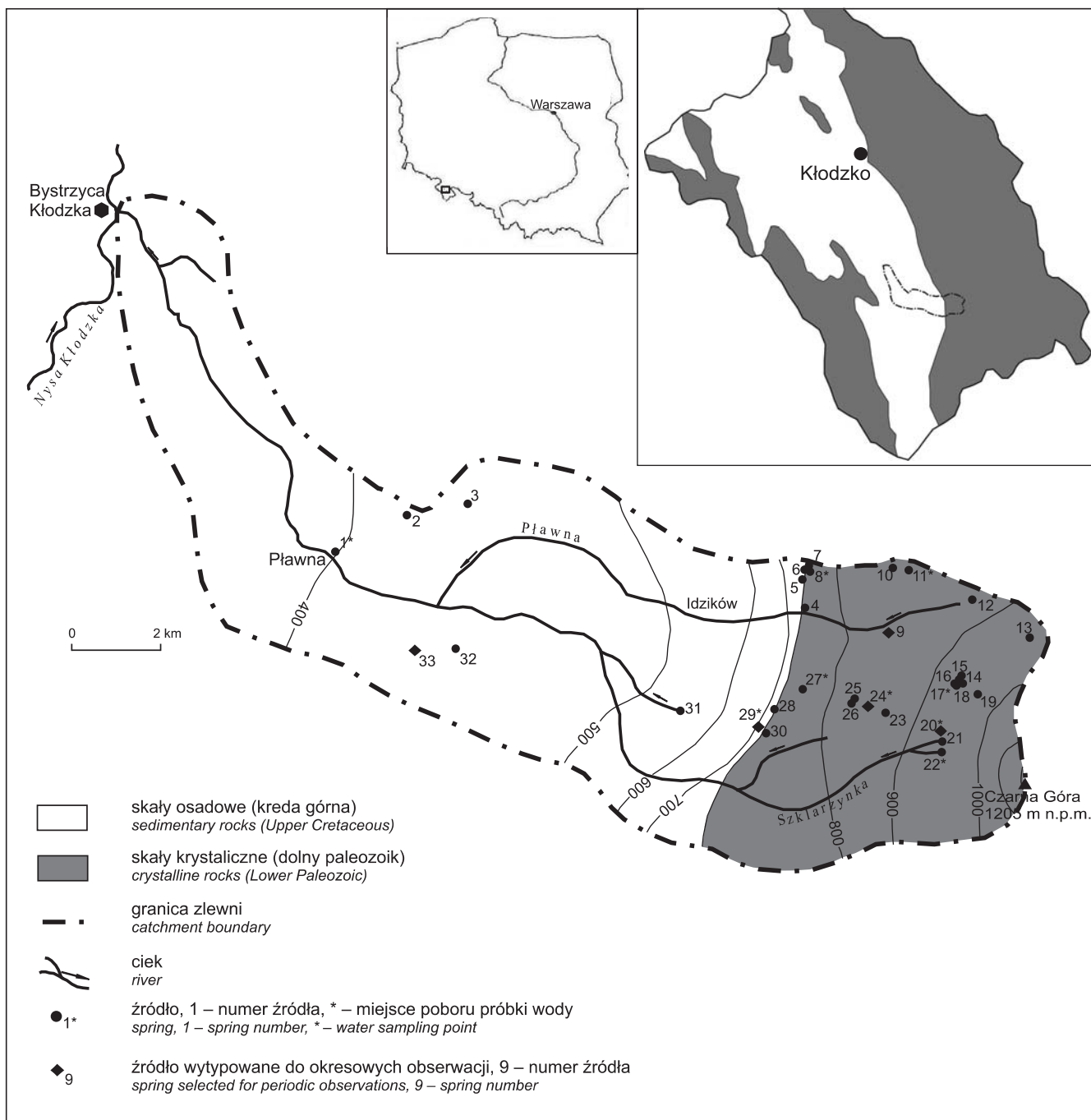
Kartowanie hydrogeologiczne wypływów przeprowadzono w sierpniu 2010 r. Wydajności źródeł określono metodą

objętościową. Do obserwacji okresowych wybrano pięć źródeł – nr 9, 20, 24, 29 i 33 (fig. 2). Ich wybór był uwarunkowany wydajnością i litologią drenowanych skał oraz dostępnością. Pomiary wydajności, temperatury, pH i PEW prowadzono w miesięcznych odstępach od sierpnia 2010 r. do kwietnia 2011 r. Źródło nr 24, jako źródło okresowe, nie zostało uwzględnione przy ocenie reżimu hydrogeologicznego. Dla dziewięciu wybranych źródeł – nr 1, 8, 11, 17, 20, 22, 24, 29 i 33 (fig. 2) – wykonano analizy chemiczne wód podziemnych, pobranych w okresie niżówkowym (sierpień, 2010 r.).

## CHARAKTERYSTYKA ŹRÓDEŁ

W ramach kartowania hydrogeologicznego zarejestrowano 33 naturalne wypływy wód podziemnych (fig. 2), co pozwoliło na obliczenie wartości wskaźnika krenologicznego wynoszącego 1,33. Wartość ta jest typowa dla obsza-

rów starych górotworów i jest zgodna z wynikami badań innych autorów, prowadzonych w Sudetach (Kryza, 1983; Bocheńska i in., 1994; Marszałek, 1996; Staśko, 1996; Olichwer, 2007).



**Fig. 2. Lokalizacja źródeł w zlewni Pławnej na tle budowy geologicznej (bez utworów kenozoiku) (wg Don i in., 2003)**

Map of springs location in Pławna catchment against the geological structure (without Cenozoic cover) (after Don *et al.*, 2003)

W zlewni Pławnej przeważają typowe źródła descenzyjne o skoncentrowanym wypływie, których zanotowano 23 (70%). Pozostałe 10 (30%) wypływów ma formę wycieków. Ze względu na położenie morfologiczne wypływów na obszarze badań dominują źródła stokowe, których zarejestrowano 23 (70%), a podrzędnie są rejestrowane źródła zboczowe i dolinne (10 źródeł, 30%). Najwięcej wypływów (11 źródeł, 33%) występuje w przedziale rzędnych 800–900 m

n.p.m. Źródło położone najwyżej znajduje się na wysokości 967 m n.p.m., a źródło położone najniżej – na wysokości 400 m n.p.m. (fig. 3).

Na rozpatrywanym obszarze większość źródeł drenuje gnejsy pokryte zwietrzeliną (26 źródeł, 79%). Są to jednocześnie wypływy najwydajniejsze. Podrzędnie spotyka się źródła drenujące piaskowce (7 źródeł, 21%). Charakterystyczne jest grupowanie się wypływów na stokach masywu

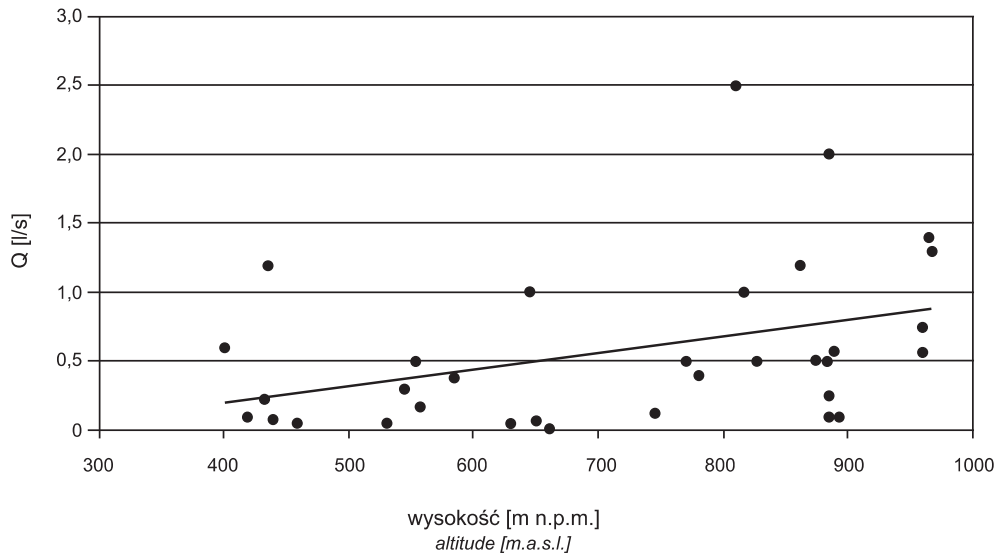


Fig. 3. Wydajność źródeł w zależności od wysokości ich położenia

Spring discharge versus their altitude

krystalicznego oraz w miejscu kontaktu litologicznego gnejsów z piaskowcami, co pozwala wydzielić dodatkowo 8 (24%) źródeł kontaktowych.

Wydajności źródeł w zlewni Pławnej nie przekraczają zwykle 1 l/s. Dominują wypływy o wydajnościach 0,1–0,6 l/s. Zarejestrowano jedynie 6 (18%) wypływów o wydajnościach większych niż 1 l/s. Maksymalna zanotowana wydajność wynosiła 2 l/s, najniższa natomiast 0,01 l/s (fig. 3). Kłasyfikując źródła wg Meinzera (Pazdro, Kozerski, 1990) można stwierdzić, że na badanym obszarze przeważają wypływy klasy VI, a podrzędnie są spotykane wypływy klas V i VII.

Najwydajniejsze źródła drenują gnejsy i grupują się we wschodniej i północno-wschodniej części zlewni Pławnej, w wyższych partiach Masywu Śnieżnika. Zauważalny jest nietypowy trend wzrostu wydajności wypływów wraz z wysokością (fig. 3).

Sumaryczna wartość odpływu krenologicznego w zlewni Pławnej wyniosła 18,04 l/s, co pozwoliło określić moduł odpływu źródłanego równy 0,69 l/s·km<sup>2</sup>. Moduł odpływu krenologicznego dla gnejsów to 0,60 l/s·km<sup>2</sup>, a dla piaskowców jedynie 0,09 l/s·km<sup>2</sup> (tab. 1). Zmienne wartości modułowe mogą sugerować głębsze krążenie wód podziemnych w obrębie zbiornika kredowego.

Tabela 1

**Odptyw źródłany z poszczególnych wydzieleni litologicznych na tle całkowitego odpływu źródłanego**

Spring discharge from individual lithological units against total spring discharge

Litologia	$\Sigma Q$ [l/s]	Moduł odpływu źródłanego [l/s·km <sup>2</sup> ]
Piaskowce	2,30	0,09
Gnejsy	15,74	0,60
Suma	18,04	0,69

**WAHANIA WYDAJNOŚCI ŹRÓDEŁ**

Na podstawie comiesięcznych pomiarów czterech źródeł obliczono wskaźnik ich zmienności R, wskazujący na występowanie na obszarze zlewni źródeł mało zmiennych lub

stałych (tab. 2). Z analizy wydajności wynika, że na zmienność źródeł nie mają wpływu ani litologia, ani hipsometria, a jedynie czynniki atmosferyczne. Najwyższe wydajności

Tabela 2

## Wybrane parametry reżimu hydrogeologicznego źródeł

List of selected hydrogeological parameters of springs

Numer źródła	Rzędna [m n.p.m.]	Wydajność Q [l/s]		Wskaźnik zmienności R [Q <sub>max</sub> /Q <sub>min</sub> ]	Kategoria	Współczynnik regresji $\alpha$	Potencjał zasobności strefy wodonośnej W [tys. m <sup>3</sup> ]	Litologia w miejscu wypływu
		Q <sub>max</sub>	Q <sub>min</sub>					
9	770	0,52	0,15	2,0	stałe	0,020	2,42	gnejs
20	965	3,33	0,42	7,9	mało zmienne	0,028	10,12	gnejs
29	558	0,56	0,10	5,6	mało zmienne	0,011	4,51	piaskowiec
33	433	0,83	0,18	4,6	mało zmienne	0,010	6,99	piaskowiec

były rejestrowane w październiku 2010 r. i styczniu 2011 r. (zakwalifikowanym przez IMGW na podstawie klasyfikacji Kaczorowskiej (1986) jako miesiąc skrajnie wilgotny w roku hydrologicznym 2010), najniższe natomiast – w grudniu 2010 r. (fig. 4).

Dla każdego źródła obliczono typowy dla niego współczynnik regresji, charakteryzujący środowisko zasilające poszczególne wypływy w okresie braku zasilania warstwy wodonośnej oraz potencjał zasobności dla poszczególnych stref wodonośnych, definiowany jako objętość wody podziemnej nagromadzonej w wodonoścu w okresie zasilania (tab. 2). Przy interpretacji krzywych wysychania każdego źródła posłużono się zależnością Mailleta:  $Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$ , gdzie:  $Q_t$  – wydajność w chwili  $t$  [m<sup>3</sup>/s],  $Q_0$  – wydajność na początku regresji [m<sup>3</sup>/s],  $\alpha$  – współczynnik regresji [1/d],  $t$  – czas trwania regresji [d] (Pazdro, Kozerski, 1990).

Dla źródeł drenujących skały osadowe rowu górnej Nysy Kłodzkiej otrzymano niskie wartości współczynnika regresji ( $\alpha \approx 0,01$ ). W przypadku źródeł drenujących gnejsy Masywu Śnieżnika uzyskane wartości były dwukrotnie wyższe ( $\alpha \geq 0,02$ ). Wartości potencjału zasobności obliczone dla obu wydzielen litologicznych można uznać za zbliżone (2,42–10,12 tys. m<sup>3</sup>) (tab. 2).

Różnice w wartościach współczynnika regresji  $\alpha$  oraz potencjału zasobności  $W$  mogą być związane przede wszystkim ze zróżnicowaniem pojemności wodonośców i głębokości występowania wód podziemnych, a w mniejszym stopniu z wielkością zasilania i jego rozkładem w czasie. Na ich podstawie można stwierdzić, że piaskowce wykazują właściwości zbiornikowe zbliżone do gnejsów, chociaż w ich obrębie występują głębsze strefy krążenia wód podziemnych.

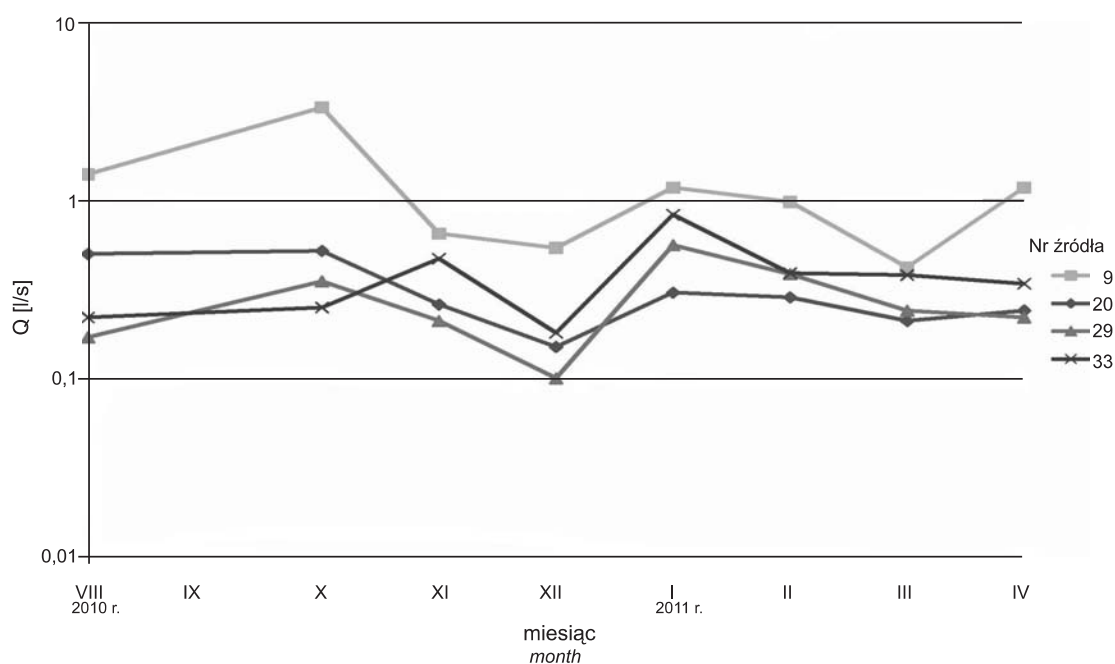


Fig. 4. Zmienność wydajności źródeł w czasie

Variability of spring discharge against time



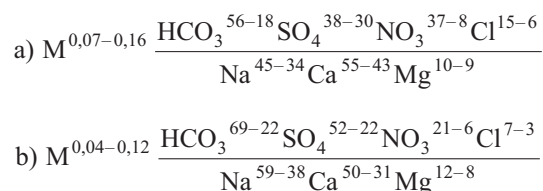
## WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNE WÓD PODZIEMNYCH

Temperatura wód źródłanych w zlewni Pławnej zawiera się w przedziale 6–14°C. Średnia temperatura wszystkich źródeł wykazuje duże podobieństwo i oscyluje wokół 6°C. Jej skrajne wartości są związane z wahaniami temperatury powietrza. Najniższymi temperaturami charakteryzują się wody pochodzące ze źródeł położonych w wysokich partiach zlewni, a najwyższymi – wody ze źródeł o niskich wydajnościach, na które bezpośredni wpływ ma temperatura otoczenia. Zauważalny jest trend wzrostu temperatury wód podziemnych wraz ze spadkiem wysokości.

Przewodność elektrolityczna właściwa (PEW) wód źródłanych na rozpatrywanym obszarze zawiera się w granicach 50–325  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Odczyn wód podziemnych jest słabokwaśny lub słabozasadowy (pH w granicach 5,1–7,4). Zarówno w przypadku pH, jak i PEW wyraźnie zaznacza się wzrost ich wartości wraz ze spadkiem wysokości terenu. Wody piętra kredowego charakteryzują się wyższymi średnimi wartościami pH i PEW niż wody w skałach krystalicznych. Odczyn pH wód pochodzących ze źródeł drenujących piaskowce zawiera się w przedziale 6,6–7,4 (średnio 7,0), a ze źródeł drenujących gnejsy – w przedziale 5,1–7,0 (ze średnią 6,05). PEW wód ze zbiornika kredowego waha się w przedziale od 162 do 325  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (średnio 244  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), a wód ze zbiornika dolnopaleozoicznego – od 50 do 288  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (ze średnią 169  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Pod względem chemicznym na rozpatrywanym obszarze występują wody ultrasłódkie i słodkie o mineralizacji nieprzekraczającej 155  $\text{mg}/\text{dm}^3$ . Ponadto są to wody bardzo miękkie (twardość ogólna poniżej 1,5  $\text{mval}/\text{dm}^3$ ). W zlewni Pławnej można zaobserwować strefową zmienność mineralizacji, związaną ze zróżnicowaniem litologicznym skał zbiornikowych. We wschodniej części zlewni, gdzie występują gnejsy, mineralizacja ogólna wód podziemnych jest bardzo niska (średnio 61  $\text{mg}/\text{dm}^3$ ). Wyższą mineralizację (średnio 125  $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) wykazują wody podziemne pochodzące z utworów kredy górnej. W badanych wodach podziemnych spośród anionów przeważają wodorowęglany

oraz siarczany, a z kationów – sód i wapń. Typowy skład chemiczny wód podziemnych piętra kredowego (a) oraz piętra dolnopaleozoicznego (b) dla 9 analizowanych próbek zapisany formułą Kurlowa przedstawia się następująco:



Właściwości fizykochemiczne wód podziemnych na obszarze badań są przede wszystkim następstwem czynników naturalnych. Na obniżenie wartości pH wód źródłanych w górnych partiach zlewni może wpływać wzbogacanie się wód w  $\text{CO}_2$  podczas infiltracji, przez bogatą w humus ściółkę leśną oraz kwaśne opady. Dominacja wodorowęglanów jest charakterystyczna dla słabo zmineralizowanych wód podziemnych występujących płytko lub wód powierzchniowych w strefie klimatu umiarkowanego (Macioszczyk, Dobrzyński, 2002). Podwyższona zawartość jonów siarczanowych może sugerować występowanie w środowisku skał zawierających minerały siarki lub dostarczanie siarczanów przez opady atmosferyczne wzbogacone w związki siarki, pochodzące z emisji antropogenicznych. Występowanie w wodach podziemnych jonów sodu i wapnia należy wiązać z wietrzeniem skałeni sodowo-wapniowych.

Na niską mineralizację wód podziemnych omawianego obszaru wpływa ich występowanie w strefie aktywnej wymiany z wodami atmosferycznymi. Wody krążące w skałach krystalicznych są słabiej zmineralizowane i bardziej zakwaszone w porównaniu z wodami skał osadowych. Wynika to przede wszystkim z większej podatności skał osadowych na rozpuszczanie, ługowanie i wietrzenie oraz z występowania w ich obrębie głębszego systemu krążenia wód podziemnych.

## PODSUMOWANIE

W ramach kartowania hydrogeologicznego w zlewni Pławnej o powierzchni 26,3  $\text{km}^2$  zarejestrowano 33 wypływy wód podziemnych, co pozwoliło określić wskaźnik krenologiczny równy 1,33. Źródła na badanym obszarze można zaklasyfikować jako mało zmienne i stałe. Ich wydajności rzadko przekraczają 1 l/s, a całkowity odpływ źródłany wynosi 0,69 l/s- $\text{km}^2$ . Wielkości te są typowe dla tej części ziemi kłodzkiej, co potwierdzają badania prowadzone w ciągu ostatnich dziesięciu lat między innymi w zlewni Bystrzycy, Małej Bystrzycy i paśmie górskim Krowiarek.

Na warunki występowania wód podziemnych w zlewni Pławnej wpływa przede wszystkim budowa geologiczna, a także morfologia powierzchni terenu. Najliczniejszą grupę stanowią skoncentrowane descenzyjne wypływy, zlokalizowane najliczniej na stokach Masywu Śnieżnika i w miejscu granicy litologicznej pomiędzy gnejsami i piaskowcami (źródła kontaktowe).

W zlewni rzeki Pławnej można zauważyć dwudzielność zarówno pod względem hydrogeologicznym, jak i hydrochemicznym, związaną z litologią skał zbiornikowych. Źródła

drenujące piaskowce charakteryzują się niższymi współczynnikami regresji niż źródła drenujące gnejsy. Nie są to jednak znaczące różnice. Porównywalne wartości potencjałów zasobności rzędu 2,42–10,12 tys. m<sup>3</sup> zarówno w przypadku skał krystalicznych, jak i osadowych, a także zbliżone wartości współczynników regresji (0,010–0,028) dla każdego z tych wydziałów litologicznych, wskazują na ich podobne właściwości zbiornikowe.

Wody piętra kredowego w porównaniu z wodami masywu krystalicznego mają wyższą mineralizację i PEW oraz niższe wartości pH. Wody podziemne na badanym obszarze są wodami o niskiej mineralizacji i twardości oraz o odczynie pH zbliżonym do obojętnego. Są to wody słodkie i ultrasłodkie, przeważnie wodorowęglanowo-siarczanowo-sodowo-wapniowe. Na formowanie się ich właściwości fizykochemicznych wpływają przede wszystkim czynniki naturalne.

## LITERATURA

- BADURA J., PRZYBYLSKI B., 1998 — Zasięg łądolołów plejstoceńskich i deglacjacja obszaru między Sudetami a Wałem Śląskim. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **385**: 9–28.
- BOCHEŃSKA T., GURWIN J., WAŚIK M., 1994 — Hydrogeologia zlewni Górnej Kaczawy. *Acta Univ. Wratisl. Pr. Geol.-Miner.*, 1684, **47**: 1–65.
- BOCHEŃSKA T., MARSZAŁEK H., WAŚIK M., 2003 — Drenaż wód szczelinowo-krasowych w rejonie Romanowa (Krowiarki). *Współcz. Probl. Hydrogeol.*, **11**: 1.
- CHRZAŚTEK A., WOJEWODA J., 2011 — Mezozoik południowo-zachodniej Polski (synklinorium północnosudeckie). *W: Mezozoik i kenozoik Dolnego Śląska* (red. A. Żelaźniewicz i in.). WIND, Wrocław. 1–10.
- DON J., SKACEL J., GOTOWAŁA R., 2003 — Geological Map of the Śnieżnik Metamorphic Unit, Stare Mesto Zone and Velke Vbrno Dome. Wrocław.
- DON J., WOJEWODA J., 2004 — Tektonika rowu górnej Nysy Kłodzkiej – sporne problemy. *Prz. Geol.*, **52**: 9.
- KACZOROWSKA Z., 1986 — Pogoda i klimat. WSiP, Warszawa.
- KOWALSKI S., 1975 — Młoty – źródła poziomu kredowego. *W: Przewodnik XLVII Zjazdu PTG, Świdnica 22–24.06.1975*: 262–265. Wyd. Geol., Warszawa.
- KRYZA H., 1983 — Wody podziemne północnej części Masywu Śnieżnika. Współczesne problemy hydrogeologii regionalnej. II Ogólnopolskie Sympozjum Łądek Zdrój, 13–16 października 1982 r.: 59–77. Wyd. UWroc., Wrocław.
- MACIOSZCZYK A., DOBRZYŃSKI D., 2002 — Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- MARSZAŁEK H., 1996 — Hydrogeologia górnej części zlewni Kamiennej w Sudetach Zachodnich. *Acta Univ. Wratisl. Pr. Geol.-Miner.*, 1881, **54**.
- MODELSKA M., BUCZYŃSKI S., RZONCA B., 2005 — Zależność mineralizacji ogólnej i przewodności elektrolitycznej właściwej wód źródłanych Ziemi Kłodzkiej (Sudety). *Współcz. Probl. Hydrogeol.*, **12**, Toruń.
- MIGOŃ P., 2001 — Ziemia Kłodzka. Przewodnik. Wydawnictwo Kartograficzne EKO-GRAF, Wrocław.
- MROCZKOWSKA B., 1997 — Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, z objaśnieniami, ark. Bystrzyca Kłodzka (933). Wyd. PIG i MOŚZNIŁ, Warszawa.
- OLICHWER T., 2007 — Zasoby wód podziemnych Ziemi Kłodzkiej. Hydrogeologia. Wyd. UWroc., Wrocław.
- PAZDRO Z., KOZERSKI B., 1990 — Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa.
- RYSIUKIEWICZ M., 2010 — Odpyływ podziemny w zlewni Bystrzycy (Góry Bystrzyckie). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **440**: 127–134.
- SROKA W., 1997 — Ewolucja morfotektoniczna Sudetów w rejonie Kotliny Kłodzkiej w świetle analizy morfometryczno-statystycznej. *Pr. Geol.-Miner.*, **58**.
- STAŚKO S., 1996 — Wody podziemne w skałach krystalicznych na podstawie badań wybranych obszarów Sudetów polskich. Wyd. UWroc. Wrocław.
- STAŚKO S., 2010 — O wodach podziemnych w utworach krystalicznych Sudetów i ich przedpola. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **440**: 135–144.
- STAŚKO S., TARKA R., 2002 — Hydrogeologia. Zasilanie i drenaż wód podziemnych w obszarach górskich na podstawie badań w Masywie Śnieżnika. Wyd. UWroc. Wrocław.
- TARKA R., 1997 — Zasilanie wód podziemnych w górskich masywach krystalicznych na przykładzie Masywu Śnieżnika w Sudetach. *Pr. Geol.-Miner.*, **56**.
- TARKA R., 2006 — Hydrogeologiczna charakterystyka utworów kredy w polskiej części Sudetów. Hydrogeologia. Wyd. UWroc., Wrocław.
- ŻELAŻNIEWICZ A., 2003 — Postęp wiedzy o geologii krystaliku Sudetów w latach 1990–2003. *W: Sudety Zachodnie: od wendy do czwartorzędu* (red. W. Ciężkowski i in.): 7–16. WIND. Wrocław.

## SUMMARY

The paper presents hydrogeological characteristics of springs in the Pławna river catchment (Kłodzko Land), based on hydrogeological mapping, periodical spring observations and physicochemical spring water analysis. The Pławna river catchment, located in the Middle and Eastern Sudetes, is a hydrogeological unit characterized by dual geological

structure – crystalline rocks of the Śnieżnik Massif and Upper Cretaceous sediments of the Upper Nysa Kłodzka Graben. Geological structure is the main factor which affects the hydrogeological conditions of the research area. Spring density index in the Pławna river catchment is equal to 1.33. The most numerous group constitute concentrated, descending



springs, situated either on the Śnieżnik Massif slopes or on the contact of crystalline basement with Cretaceous sandstones. Total spring discharge was estimated on  $0.69 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$  and its share in total groundwater discharge is only 5.3%. Regression coefficients, ranging from 0.01 for springs draining sedimentary rocks to 0.028 for springs draining crystalline rocks, may suggest deeper groundwater circulation in Upper Cretaceous reservoir. Similar values of sedimentary and crystalline aquifers capacity potentials ( $2,420\text{--}10,120 \text{ m}^3$ ) can attest of their comparable reservoir proper-

ties. In terms of hydrogeochemical features, the groundwater in Upper Cretaceous aquifer has higher mineralization and electrolytic conductivity, and lower pH than the groundwater in crystalline aquifer. Generally spring water in the Pławna river catchment is characterized by low mineralization (TDS below  $155 \text{ mg/dm}^3$ ) and hardness (below  $1.5 \text{ meq/dm}^3$ ), and pH close to neutral. The main ions in groundwater are bicarbonates, sulfates, sodium and calcium. Chemical composition of spring water is mostly the result of natural factors.

