Aleksandra Machowska[1], Igor Śniady[1], Anita Przybysz[1], Zuzanna Krawczak[1], Magdalena Baranowska[1], Paulina Romel[1], Marcin Siepak[2]
Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu
[1]Koło Naukowe Geologów Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
[2]Pracownia Hydrogeologii i Ochrony Wód, Instytut Geologii

ANALIZA ZMIENNOŚCI SKŁADU FIZYCZNO-CHEMICZNEGO WÓD ŹRÓDEŁKA MALTAŃSKIEGO

Streszczenie
Obiektem badań było źródło, znajdujące się w pobliżu sztucznego zbiornika wodnego (Jeziora Maltańskiego) w Poznaniu, nazywane Źródełkiem Maltańskim. Przeprowadzone badania obejmowały wykonanie oznaczeń składu fizyczno-chemicznego w próbkach wody pobieranych raz w miesiącu w okresie od kwietnia 2021 do marca 2022 roku. Dokonano oznaczeń kationów oraz anionów przy pomocy chromatografu jonowego (IC) oraz pierwiastków śladowych przy wykorzystaniu indukcyjnie sprzężonej plazmy ze spektrometrią mas (ICP-QQQ). Wyniki analiz wykazały zmienność składu fizyczno-chemicznego w ciągu badanego okresu. Szczególnie widoczny jest wzrost temperatury i przewodności elektrolitycznej oraz jonów: Cl^-, HCO_3^-, SO_4^{2-}, Na^+, Ca^{2+} w okresie letnim, co spowodowane może być mniejszą liczbą opadów w tej porze roku oraz intensyfikacją procesów hydrogeochemicznych wynikającą ze zmian temperatury wody. Stwierdzono również wzrost stężeń NO_3^-, NO_2^- oraz PO_4^{3-} w okresie wiosennym. Wśród oznaczanych pierwiastków śladowych podwyższonym stężeniem charakteryzowała się miedź, co może być związane z rodzajem materiału, z jakiego wykonana jest obudowa Źródełka. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że podczas całego okresu badań woda wykazywała przydatność do picia w odniesieniu do Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. 2017 poz. 2294). Została również określona ich jakość na podstawie Rozporządzenia Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 11 października 2019 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych (Dz.U. 2019 poz. 2148). Woda przez cały okres badania kwalifikowała się do III klasy jakości.

Abstract
The object of the study was a spring, located near an artificial water reservoir (Lake Malta) in Poznań, called Malta Spring. The research carried out included the determination of physical and chemical composition in water samples taken once a month during the period from April 2021 to March 2022. Determinations of cations and anions were made using an ion chromatograph (IC) and trace elements using inductively coupled plasma with mass spectrometry (ICP-QQQ). The results of the analyses showed a variation in physico-chemical composition over the study period. Particularly evident is an increase in

temperature and electrolytic conductivity, as well as ions: Cl^-, HCO_3^-, SO_4^{2-}, Na^+, Ca^{2+} during summer, which may be due to less rainfall during this season and intensification of hydrogeochemical processes resulting from changes in water temperature. An increase in concentrations of NO_3^-, NO_2^- and PO_4^{3-} was also found in spring. Among the trace elements determined, elevated concentrations were characterized by copper, which may be related to the type of material from which the Spring enclosure is made. Based on the results, it was concluded that during the entire period of testing, the water showed suitability for drinking in relation to the Regulation of the Minister of Health of December 7, 2017 on the quality of water intended for human consumption (Journal of Laws 2017 item 2294). Its quality was also determined based on the Regulation of the Minister of Maritime Affairs and Inland Navigation of October 11, 2019 on the criteria and method of assessing the status of groundwater bodies (Journal of Laws 2019 item 2148). The water qualified for class III quality throughout the study period.

Słowa kluczowe: Źródełko Maltańskie, chemizm wody, jakość wody, źródło

Wstęp

Źródłem nazywa się samoczynny, naturalny i skoncentrowany wypływ wody podziemnej na powierzchnię terenu (Pazdro, Kozerski, 1990). Występują one w miejscach, gdzie powierzchnia terenu przecina warstwę wodonośną lub statyczne zwierciadło wody podziemnej (Humnicki, 2012). Samowypływy stanowią ciekawe obiekty przyrodnicze, które przyczyniają się do zwiększenia różnorodności geograficznej środowiska, odgrywają istotną rolę ekologiczną, zwiększają atrakcyjność turystyczną regionu, a także, mogą być wykorzystane do zaopatrzenia w wodę do picia (Siwek, 2004).

Wody źródeł charakteryzują się naturalną zmiennością cech fizyczno-chemicznych. Funkcjonowanie i cechy wód wypływających ze źródeł, odzwierciedlają procesy zachodzące w obrębie aktywnej strefy wymiany wód podziemnych. Parametry fizyko-chemiczne wód źródlanych, takie jak temperatura, przewodność elektrolityczna, odczyn, a także skład chemiczny, wskazywać mogą na głębokość zalegania warstwy wodonośnej oraz oddziaływanie ośrodka gruntowego na wody podziemne (Kisiel i in., 2018). Dostarczają one informacji o procesach zachodzących w wodach podziemnych, wskazują na potencjalne i rzeczywiste zagrożenia jakości wód. Istotnym zagadnieniem w badaniach jakości wód źródlanych jest identyfikacja naturalnych i antropogenicznych czynników, które kształtują skład chemiczny wód. Poznanie tych czynników umożliwia diagnozę zagrożeń i daje podstawę do opracowania długofalowego programu ochrony źródeł (Siwek, 2004). Na chemizm wód wpływają także warunki klimatyczne. Objawia się to sezonowymi zmianami stężeń jonów w wodach źródeł (Wolanin, 2014).

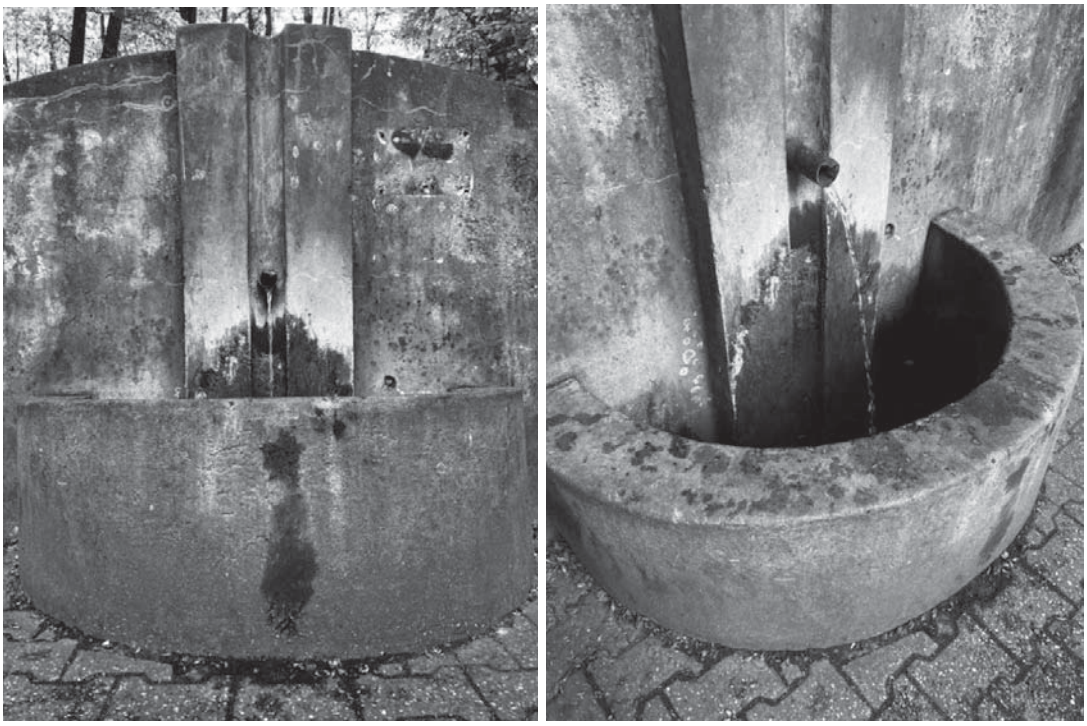
Obiektem badań jest swobodny wypływ wód piętra czwartorzędowego nazywany potocznie Źródełkiem Maltańskim, znajdujący się w pobliżu

Jeziora Maltańskiego (ryc. 1). Stanowi on miejsce często odwiedzane przez mieszkańców Poznania oraz turystów spacerujących w okolicach jeziora i korzystających z przyległej do niego infrastruktury. Mimo braku oficjalnego zatwierdzenia jako źródło wody przydatnej do picia jest ono wykorzystywane przez odwiedzających w celach spożywczych oraz rekreacyjnych.

Celem badań była: (1) analiza zmienności parametrów fizyczno-chemicznych w czasie, (2) określenie przydatności do spożycia wody pochodzącej ze Źródełka Maltańskiego wg kryteriów składu hydrochemicznego na podstawie rozporządzenia Ministra Zdrowia (2017) oraz (3) określenie klasy jakości wody podziemnej na podstawie rozporządzenia Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej (2019), (4) poszerzenie wiedzy o wpływie aglomeracji miejskiej na jakość wód źródeł zlokalizowanych w przestrzeni miejskiej, a także (5) zwrócenie uwagi na walory rekreacyjne Źródełka.

Materiał i metoda

Teren, na którym prowadzone były badania ma złożoną budowę geologiczną. Leży na obszarze elewacji szamotulsko-obornickiej. Nad Jeziorem Maltańskim nawiercono wody termalne w osadach jury dolnej na głębokości ok. 1 km o mineralizacji 20,8 g/l i temperaturze 42,2°C na wypływie (Górski, Przybyłek, 1996). Teren Źródełka budują głównie osady plejstocenu i holocenu. Źródełko Maltańskie jest naturalnym wypływem wód piętra czwartorzędowego zlokalizowanym na południowo-wschodnim brzegu sztucznego zbiornika wodnego (Jeziora Maltańskiego) przy ul. Wiankowej (ryc. 2). Samowypływ ten znajduje się na granicy kontaktu piasków sandrowych z osadami glin zwałowych zlodowacenia wisły (ryc. 3). Dla źródła został obliczony wskaźnik zmienności (R), który rozumiany jest jako iloraz wydajności maksymalnej ($Q_{maks.}$) i minimalnej ($Q_{min.}$) w okresie obserwacyjnym (Humnicki, 2012) i wyniósł on 1,4, co pozwoliło przy wykorzystaniu klasyfikacji Maillet'a skategoryzować Źródełko Maltańskie jako stałe pod względem zmienności wydajności. Według klasyfikacji Meinzera znajduje się ono zaś w najniższej – VIII klasie wydajności (Humnicki, 2012). Blisko źródła znajduje się otwór hydrogeologiczny (nr 4710143), którego poziom wodonośny ujmowany jest z soczewek piasku genezy fluwioglacjalnej (ryc. 3). Jest to rzadkie zjawisko we wschodniej części miasta Poznania, gdzie występują głównie miąższe, kilkudziesięciometrowe warstwy glin zwałowych. W niedalekim sąsiedztwie otworu występują także osady holoceńskie: torfy oraz antropogeniczne nasypy.



Rycina 1. Źródełko Maltańskie przy ul. Wiankowej w Poznaniu

Pobieranie próbek wody

Próbki wody do analizy fizyczno-chemicznej pobierano raz w miesiącu w okresie od kwietnia 2021 do marca 2022 roku. Bezpośrednio w terenie dokonano pomiarów temperatury powietrza i wody, odczynu pH wody oraz przewodnictwa elektrolitycznego za pomocą wielofunkcyjnego urządzenia pomiarowego Multi 350i, firmy WTW (Weilheim, Niemcy). Dokonano również pomiarów wydajności źródła. Próbki wody o objętości 1L i 250 ml pobrano do butelek polietylenowych (HDPE) firmy Nalgene®. Próbki w zależności od oznaczanych parametrów chemicznych utrwalano 60% HNO_3 Ultrapur® (do pH <2) oraz $CHCl_3$ Pro Analysis® (Merck, Darmstadt, Niemcy). Po pobraniu próbki zostały przewiezione do laboratorium chemicznego w chłodziarce samochodowej w temperaturze około 4 ± 2,5°C.



Rycina 2. Mapa terenu badań z zaznaczonym przebiegiem przekroju A-A'

Analiza chemiczna

W próbkach wody oznaczono kationy (Na^+, NH_4^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}) oraz aniony (Cl^-, F^-, NO_3^-, NO_2^-, SO_4^{2-}, PO_4^{3-}) za pomocą chromatografu jonowego (IC) firmy Metrohm (Metrohm, Szwajcaria), model 881 Compact IC Pro. Parametry pracy urządzenia oraz metody analitycznej przedstawiono w pracy Siepak i in., (2023).

Oznaczeń Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, V oraz Zn dokonano z wykorzystaniem indukcyjnie sprzężonej plazmy ze spektrometrią mas (ICP-QQQ), model 8800 Triple Quad, firmy Agilent Technologies (Japonia). Oznaczeń dokonano w dwóch trybach gazowych: O_2 przy przepływie 0,3 ml/min. (30%) oraz He przy przepływie 5 ml/min. W celu kontroli pracy aparatu oraz przetwarzania danych użyto oprogramowanie MassHunter dla ICP-QQQ (Agilent Technologies, Japonia). Parametry pracy aparatu opisano w pracy Siepak i in., (2023).

Zasadowość ogólną oznaczono z wykorzystaniem kwasu HCl (0,1 mol/l), wobec oranżu metylowego. W celu sprawdzenia poprawności uzyskanych wyników sporządzono bilans jonowy. Obliczony błąd nie przekroczył ± 2%.

Odczynniki

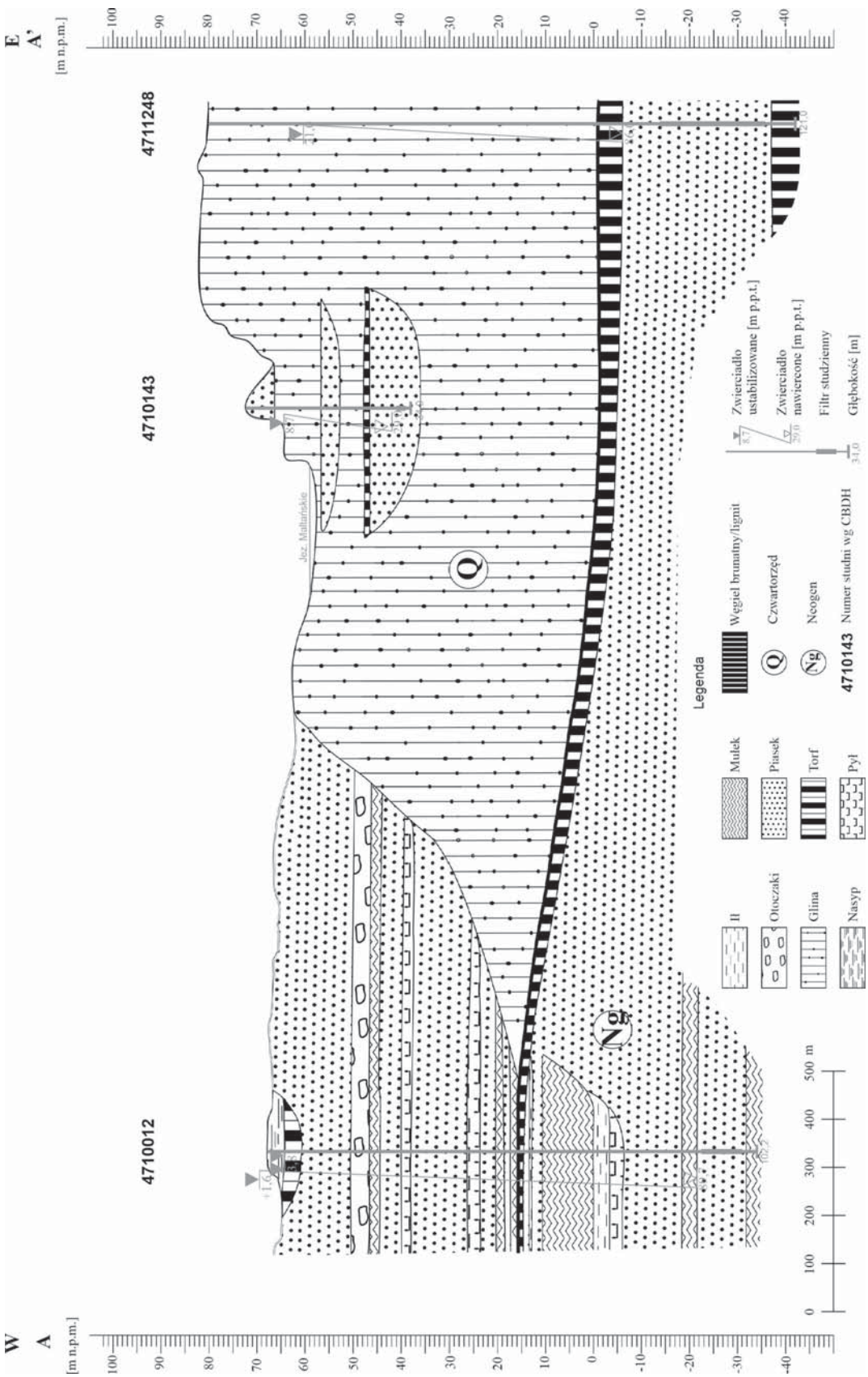
W trakcie oznaczeń techniką chromatografii jonowej (IC) wykorzystano roztwory wzorcowe firmy Merck (Merck, Darmstadt, Germany) oraz CPAchem (C.P.A. Ltd. Stara Zagora, Bułgaria). Fazę ruchomą dla kationów i anionów sporządzono z odczynników firmy Fluka (Sigma-Aldrich,

Steinheim, Szwajcaria). Podczas oznaczeń techniką ICP-QQQ wykorzystano wielopierwiastkowe roztwory wzorcowe firmy VHG Labs (Manchester, USA) o stężeniu podstawowym 100 µg/mL. Stosowano odczynniki ultraczyste oraz wodę dejonizowaną o oporności 18.2 MΩ·cm oczyszczoną z wykorzystaniem urządzenia Direct-Q® 3 Ultrapure Water System (Millipore, Francja). W celu sprawdzenia poprawności uzyskanych wyników badań wykorzystano certyfikowany materiał referencyjny 1643f (National Institute of Standards and Technology, USA) i SPS-SW2 (Spectrapure Standards As, Oslo, Norwegia).

Analiza uzyskanych wyników

Oznaczone parametry fizyczne oraz chemiczne wody zostały poddane analizie statystycznej przy użyciu programu STATISTICA (wersja 13.3). Określono przy jego pomocy podstawowe miary położenia (średnia, mediana), rozrzutu (wartość maksymalna i minimalna, dolny i górny kwartyl, odchylenie standardowe) oraz kształtu rozkładu (skośność) (tab. 1).

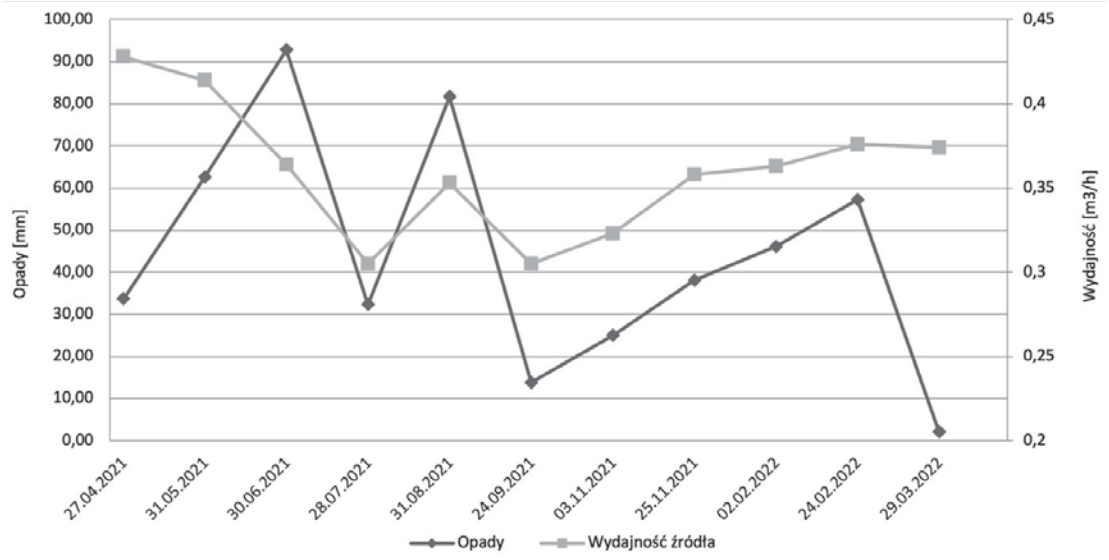
Wyniki określonych parametrów i składu chemicznego wody z każdego miesiąca zostały zweryfikowane pod kątem możliwości spożycia przez ludzi na podstawie rozporządzenia Ministra Zdrowia (2017) oraz została określona ich jakość na podstawie rozporządzenia Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej (2019).



Rycina 3. Przekrój hydrogeologiczny A-A' przez badany teren

Wyniki

Wartości temperatury wody osiągnęły najniższe wartości w miesiącach zimowych, a najwyższe w miesiącach letnich, co pokrywa się z wartościami temperatury powietrza w tym samym czasie (ryc. 5). Świadczy to o sezonowym oddziaływaniu powierzchniowych warunków termicznych na wody podziemne wypływające ze źródła. Sezonowa zmienność temperatury wody może warunkować tempo przebiegu procesów i reakcji hydrogeochemicznych (Macioszczyk, Dobrzyński, 2007). Wydajność źródła przez większość roku utrzymywała się na podobnym poziomie, jedynie w okresie wiosennym możemy zobaczyć nieznacznie wyższe wartości wydajności (ryc. 4). Związane to może być z zasilaniem przypowierzchniowego piętra czwartorzędowego przez wody roztopowe. Najniższe wartości wydajności zaobserwowano w lipcu oraz wrześniu, co pokrywa się ze zmniejszonym natężeniem opadów w tych miesiącach. W okresie letnim wzrost tego parametru wystąpił w sierpniu, co koreluje z wysokimi wartościami średnich opadów.



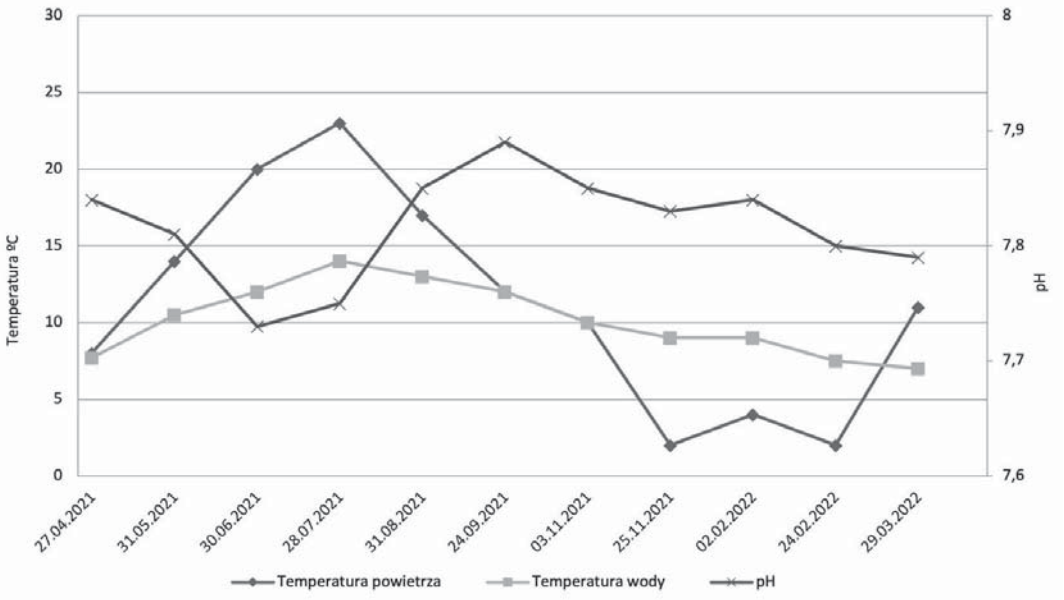
Rycina 4. Wykres przedstawiający zmienność wydajności na tle średnich opadów miesięcznych

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW PAN

Tabela 1. Wyniki oznaczeń parametrów fizyko-chemicznych – rozkład statystyczny

	Parametr	Jednostka	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny (Kwartyl.)	Górny (Kwartyl.)	Odch.std	Skośność
Parametry fizyczne	Wydajność	[m^3/h]	0,36	0,36	0,31	0,49	0,32	0,38	0,04	0,17
	Temp. wody	[◦C]	10,2	10,0	7,0	14,0	7,7	12,0	2,4	0,23
	Temp. powietrza	[◦C]	11,2	11,0	2,0	23,0	4,0	17,0	7,0	0,21
	pH	[-]	7,82	7,83	7,73	7,89	7,79	7,85	0,05	-0,54
	Przewodnictwo	[µS/cm]	1036	1044	868	1202	932	1152	113	0,07
Makroelementy	Zasadowość	[mval/L]	4,4	4,7	3,0	4,9	4,3	4,8	0,7	-1,65
	Wodorowęglany	[mg/L]	267,3	286,7	183,0	298,9	262,3	292,8	41,6	-1,65
	Twardość		430,5	444,6	345,4	466,1	415,4	461,9	42,9	-1,47
	F^-		0,05	0,05	0,03	0,06	0,04	0,06	0,01	-0,89
	Cl^-		143,7	138,7	134,9	156,9	135,5	151,1	8,9	0,38
	NO_2^-		0,095	0,101	0,044	0,133	0,052	0,124	0,034	-0,53
	NO_3^-		14,4	14,6	13,1	15,7	13,6	14,9	0,9	-0,12
	PO_4^{3-}		0,16	0,14	0,09	0,28	0,11	0,24	0,06	0,96
	SO_4^{2-}		107,6	106,3	100,1	113,6	104,8	111,6	4,1	-0,22
	Na^+		52,7	52,2	49,6	56,8	50,7	54,3	2,4	0,39
	NH_4^+		0,096	0,091	0,058	0,144	0,068	0,128	0,030	0,27
	K^+		0,60	0,62	0,45	0,79	0,49	0,69	0,11	0,11
	Ca^{2+}		152,8	155,1	124,9	164,9	151,3	163,2	13,6	-1,49
	Mg^{2+}		12,0	13,3	7,43	14,3	9,21	13,8	2,5	-1,06

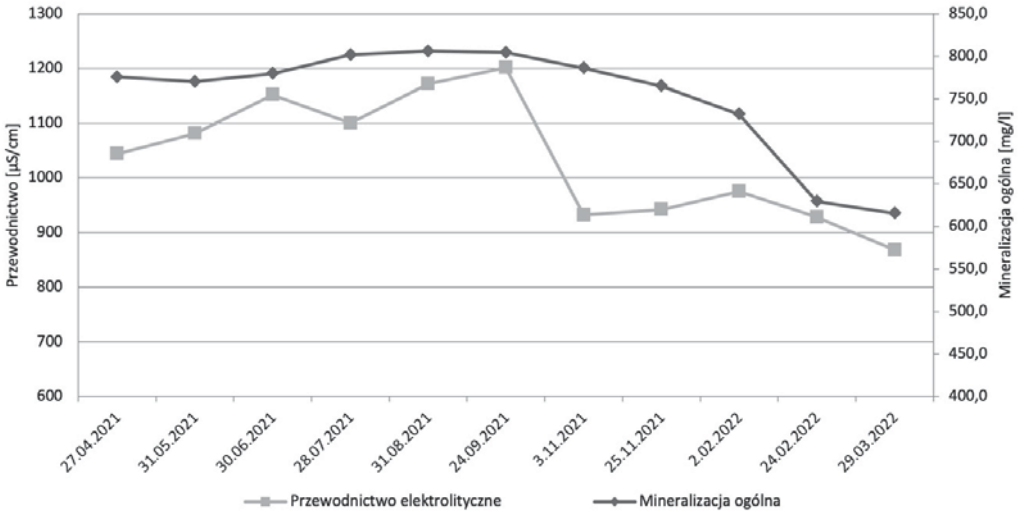
	Parametr	Jednostka	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny (Kwartyl.)	Górny (Kwartyl.)	Odch.std	Skośność
Mikroele-menty	Al	[µg/L]	2,72	2,21	1,25	6,27	1,75	2,69	1,64	1,67
	As		0,34	0,35	0,26	0,39	0,33	0,36	0,04	-1,26
	Cd		0,039	0,039	0,025	0,060	0,028	0,051	0,013	0,61
	Co		0,069	0,065	0,048	0,101	0,059	0,080	0,017	0,78
	Cr		0,34	0,32	0,15	0,74	0,24	0,38	0,15	1,87
	Cu		43,8	43,0	26,2	64,1	32,4	53,6	12,6	0,24
	Fe		27,9	25,3	16,1	48,1	23,2	31,8	8,66	1,26
	Mn		5,40	5,33	2,09	10,74	3,51	6,05	2,58	0,91
	Ni		2,50	2,65	1,19	4,38	1,34	3,25	1,10	0,41
	Pb		0,31	0,27	0,17	0,52	0,18	0,46	0,13	0,55
	Sb		0,27	0,22	0,21	0,57	0,21	0,26	0,11	2,68
	Se		0,66	0,71	0,47	0,81	0,58	0,75	0,11	-0,38
	V		0,76	0,82	0,22	0,93	0,69	0,87	0,20	-2,38
	Zn		3,66	3,54	2,01	5,95	2,66	4,61	1,23	0,71



Rycina 5. Wartości pH oraz temperatury wody do temperatury powietrza w badanym okresie

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW PAN

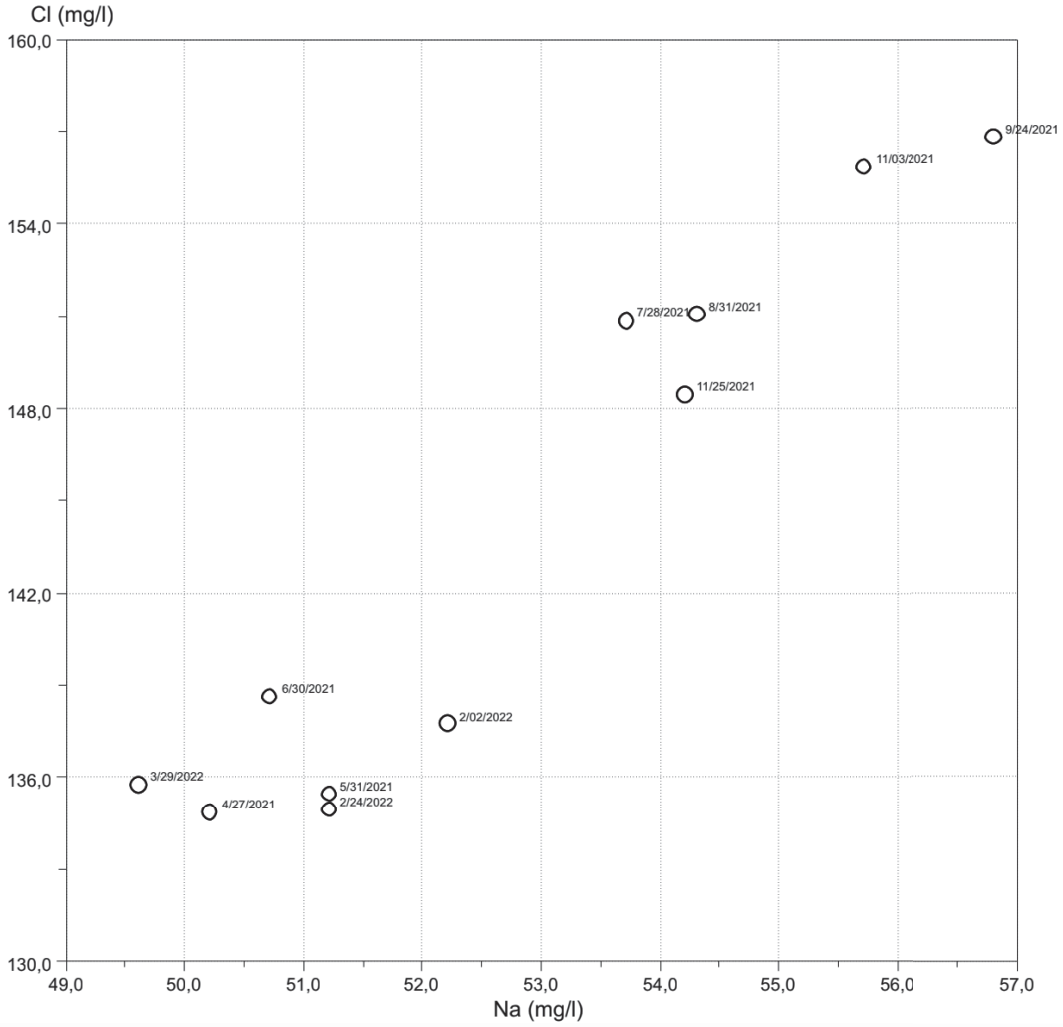
Woda z badanego źródła charakteryzuje się zmiennością składu chemicznego w ciągu roku. Oznaczone kationy (Na^+, NH_4^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}) oraz aniony (Cl^-, F^-, NO_3^-, NO_2^-, SO_4^{2-}, PO_4^{3-}) wykazują zmienność sezonową na przestrzeni badanego okresu (ryc. 8). Okres letni odznacza się zwiększonymi wartościami mineralizacji ogólnej, który przejawia się również wyższymi wartościami przewodnictwa elektrolitycznego (ryc. 6). Związane to może być z intensyfikacją procesów hydrogeochemicznych w przypowierzchniowej warstwie wodonośnej (Macioszczyk, Dobrzyński, 2007).



Rycina 6. Zależność przewodnictwa od mineralizacji ogólnej w badanym okresie

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW PAN

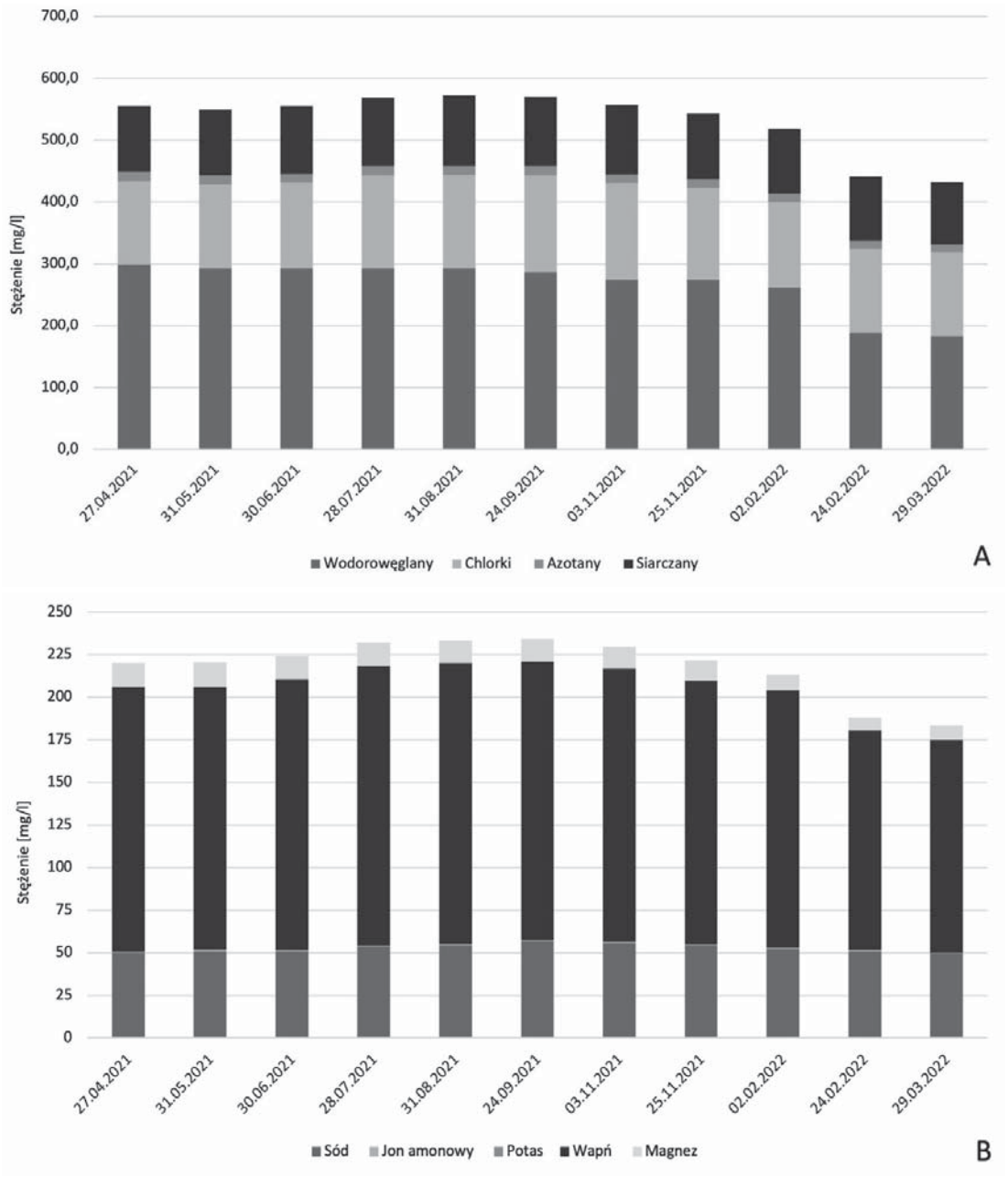
Dominującym anionem występującym w badanej wodzie są wodorowęglany, a ich najwyższe stężenia obserwuje się w okresie letnim. Chlorki swoje maksymalne wartości osiągnęły we wrześniu, zaś najniższe w okresach zimowych i wiosennych (ryc. 7), czego przyczyną może być zmniejszona lub zwiększona dostawa opadów atmosferycznych oraz roztopowych ubogich w jony Cl^-, powodując różne ich stężenia w wodzie źródła.



Rycina 7. Wykres Scatter'a przedstawiający zależność chlorków od sodu w badanym okresie

Najwyższe wartości związków azotu (NO_3^-, NO_2^-, NH_4^+), a w szczególności azotanów, zaobserwowane zostały w sezonie wiosennym, na początku badanego okresu. Ich podwyższone stężenia mogą być skutkiem minionej działalności rolniczej w południowo-wschodniej części Poznania. Podobnymi trendami oraz genezą wykazywały się fosforany, które podobnie jak azotany są i były powszechnie wykorzystywane w rolnictwie. Wysokie stężenia siarczanów wystąpiły w sierpniu oraz wrześniu co koreluje się z wysoki

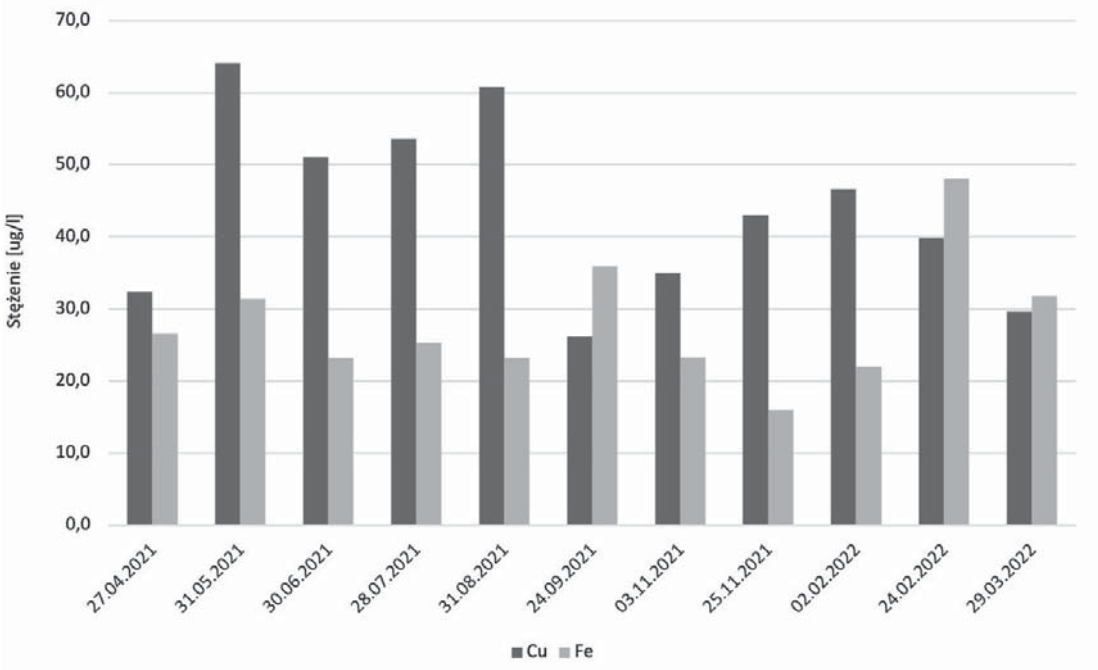
wartościami stężeń jonów Na^+ oraz Ca^{2+} (ryc. 8), których obecność w wodach podziemnych wpływa na rozpuszczalność soli siarczanowych (Macioszczyk, Dobrzyński, 2007). Najwyższe i najniższe stężenia jonów wapnia pokrywają się również z najwyższą twardością ogólną na poziomie 466,1 mg/L oraz najniższą na poziomie 345,4 mg/L. Wartości stężenia potasu w badanym okresie nie przekroczyły 1 mg/L, co związane może być z drogą filtracji wód zasilających źródło przebiegającą poprzez gliny zwałowe bogate w minerały ilaste adsorbujące jony K^+ (Macioszczyk, Dobrzyński, 2007). Zawartość magnezu w badanej wodzie charakteryzuje się znaczącą zmiennością na przestrzeni roku (ryc. 8), wahającą się od 7,43 mg/L na początku badanego okresu do 14,0 mg/L na końcu. Wartości magnezu i wapnia są zatem charakterystyczne dla wód piętra czwartorzędowego występujących w utworach lodowcowych (Macioszczyk, Dobrzyński, 2007).



Rycina 8. Stężenia wybranych anionów (A) oraz kationów (B) w badanym okresie

Wyniki badań dla pierwiastków śladowych: Al, As, Cd, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, V oraz Zn (tab. 1) wykazują stężenia na poziomie tła hydrogeochemicznego określonego w rozporządzeniu Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi (2019). Jedynie Cu przekracza normę określoną dla tła hydrogeochemicznego (ryc. 9), a podwyższony poziom stężeń tego pierwiastka może być spowodowany ługowaniem tego pierwiastka z elementów obudowy źródła, które noszą widoczne ślady korozji (ryc. 1).

Na podstawie klasyfikacji Altowskiego-Szwieca badana woda może zostać określona przez większość roku jako typ wapniowo-wodorowęglanowy, jednak w lutym i marcu charakter wody zmienił się na wapniowo-chlorkowy. Uwzględniając jony główne została określona mineralizacja ogólna i na jej podstawie, przy wykorzystaniu klasyfikacji Brodskiego, woda została zaklasyfikowana jako słodka (Macioszczyk, Dobrzyński, 2007). Wartości pH klasyfikują badaną wodę jako słabo zasadową, zaś wartości twardości ogólnej jako twardą (Pazdro, Kozerski, 1990).



Rycina 9. Wykres zmienności stężenia żelaza i miedzi w badanym okresie

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Zdrowia (2017) wszystkie oznaczone parametry fizyczne oraz chemiczne wody spełniają kryteria wody do spożycia przez ludzi.

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej (2019) woda powinna zostać zaklasyfikowana do klasy III, ze względu na podwyższoną zawartość miedzi (ryc. 9) oraz wapnia przez okres całego roku, a także okresowe przekroczenia wartości granicznych chlorków dla klasy II w miesiącach od lipca do listopada. Dodatkowo na zaklasyfikowanie wody do klasy III wpływają wyższe temperatury w miesiącach letnich świadczące o podatności na sezonowe zmiany tego parametru. Wody przynależące do takiej klasy wykazują się zadowalającą jakością, a ich wartości elementów fizyczno-chemicznych mogą być podwyższone na skutek słabej działalności człowieka lub naturalnych procesów zachodzących w wodach podziemnych.

Wyniki przeprowadzonych badań pozwalają rozszerzyć aktualną wiedzę na temat zachowania się źródeł w przestrzeni miejskiej, a także po raz pierwszy opisać dokładnie parametry fizyko-chemiczne Źródełka Maltańskiego oraz ich zmienność w czasie.

Wnioski

Przeprowadzone badania wód Źródełka Maltańskiego wykazały, że:

1. Woda charakteryzuje się zmiennością parametrów fizyko-chemicznych w czasie.
2. Stwierdzono najwyższe stężenia dla Cl^-, HCO_3^-, SO_4^{2-}, Na^+, Ca^{2+} w okresie letnim, co związane jest z intensyfikacją procesów hydrogeochemicznych wynikających ze wzrostu temperatury wody w tym okresie oraz niskich opadów atmosferycznych.
3. Wykryto podwyższone stężenia NO_3^-, NO_2^-, PO_4^{3-} w okresie wiosennym, co może być wynikiem minionej działalności rolniczej w południowo-wschodniej części Poznania.
4. Wśród pierwiastków śladowych tylko Cu wykazało stężenie wyższe niż wyznaczone dla tła hydrogeochemicznego, a powodem tego jest najprawdopodobniej ługowanie tego metalu z korodującej obudowy źródła.
5. Według rozporządzenia Ministra Zdrowia (2017) woda nadawała się do spożycia przez cały badany okres.
6. Według rozporządzenia Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej (2019) woda została zaklasyfikowana do III klasy, czyli wód o zadowalającej jakości.
7. Dzięki uzyskanym wynikom stwierdzić można, iż Źródełko posiada wysoki potencjał w wykorzystaniu w celach rekreacyjnych oraz spożywczych, po wcześniejszym przeprowadzeniu dodatkowych analiz bakteriologicznych.

Piśmiennictwo

1. Górski J., Przybyłek J. (1996), Budowa geologiczna i wody podziemne. W: L. Kurek (red.) Środowisko naturalne miasta Poznania. Wydział Ochrony Środowiska Urzędu Miejskiego w Poznaniu, Poznań, s. 23-44.
2. Humnicki W. (2012), Zasilanie i drenaż wód podziemnych. W: A. Macioszczyk (red.), Podstawy hydrogeologii stosowanej. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
3. Kisiel M., Bochnak D., Jastrzębska B., Mostowik K., Pufelska M., Rzonca B., Siwek J. (2018), Skład chemiczny wód źródlanych w masywie Połoniony Wetlińskiej. Roczniki Bieszczadzkie, 26, s. 205-222.
4. Macioszczyk A., Dobrzyński D. (2007), Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
5. Pazdro Z., Kozerski B. (1990), Hydrogeologia ogólna. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa.

6. Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 11 października 2019 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych (Dz.U. 2019 poz. 2148).
7. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. 2017 poz. 2294).
8. Siepak M., Lewandowska A., Sojka M. (2023), Variability in the Chemical Composition of Spring Waters in the Postomia River Catchment (Northwest Poland). Water, 15, 1, 157.
9. Siwek J. (2004), Źródła w zlewniach Prądnika, Dłubni i Szreniawy. Naturalne i antropogeniczne uwarunkowania jakości wód. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński, Kraków.
10. Wolanin A. (2014), Zmiany fizycznych i chemicznych wód źródeł w zlewni Potoku Chochołowskiego (Tatry Zachodnie). Prace Geograficzne, 138, s. 45-56.