








CECHY FIZYCZNO-CHEMICZNE WÓD ŹRÓDEŁ OKOLIC NOWEGO MIASTA NAD PILICĄ

Physico-chemical properties of spring water near Nowe Miasto nad Pilicą

MAKSYM ŁASZEWSKI¹ , KRZYSZTOF STĘPNIEWSKI² , PATRYCJA KOWALCZYK² ,
WIKTORIA MALINOWSKA² , WERONIKA SKORUPA² , ALEKSANDRA SOBKOWICZ² ,
KLAUDIA ŻABA² 

Zarys treści. Celem opracowania była wstępna charakterystyka hydrologiczna i hydrochemiczna wód źródeł okolic Nowego Miasta nad Pilicą. Monitoringiem objęto dziewięć źródeł descenzyjnych, zlokalizowanych w obrębie skarpy erozyjnej Pilicy na odcinku od Łęgonic do Woli Pobiedzińskiej, w których woda wypływa z porowych utworów czwartorzędowych. Raz w miesiącu od listopada 2022 do października 2023 roku mierzono wydatek wypływów, temperaturę, przewodnictwo elektrolityczne właściwe i odczyn ich wód, jak również oznaczano stężenie azotanów. Dwukrotnie w ciągu badanego okresu (w lutym i sierpniu) określono skład chemiczny wód źródeł w zakresie makroelementów, natomiast w sierpniu oznaczono dodatkowo stężenia wybranych mikroelementów. Uzyskane wyniki wskazały, iż wydajność rozpoznanych wypływów mieściła się w VI i VII klasie według Meinzera i odznaczała się stabilnością w czasie. Pod względem mineralizacji wody źródeł można zaliczyć do słodkich oraz akratopegów o typie hydrochemicznym $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ i $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$. Udokumentowano istotne zróżnicowanie cech fizycznych oraz składu chemicznego wód źródeł (widoczne w stężeniach SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ i K^+), będące efektem antropopresji oraz dobrej izolacji horyzontów wodonośnych. Stwierdzono także silne zanieczyszczenie wód źródeł azotanami, odzwierciedlające intensywną działalność rolniczą prowadzoną w obrębie Wysoczyzny Rawskiej.

Słowa kluczowe: źródła, skład chemiczny, wydajność, antropopresja, Nowe Miasto nad Pilicą

Abstract. The aim of the study was to conduct a preliminary hydrological and hydrochemical investigation of spring waters near Nowe Miasto nad Pilicą. The monitoring covered nine descending springs located within the Pilica erosion scarp on the section from Łęgonice to Wola Pobiedzińska, where water flows out of Quaternary porous formations. Once a month, from November 2022 to October 2023, the discharge, temperature, conductivity, pH and nitrate concentrations were measured, while the chemical composition in terms of macroelements was determined in February and August. Additionally, the concentrations of selected microelements were measured in August. The obtained results indicated that the discharge of the identified outflows placed them in classes VI and VII according to Meinzer classification and was relatively stable over time. In terms of water mineralisation, the springs can be classified as freshwater and acratopegic, with the hydrochemical types being $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ and $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$. Significant differences in the physical characteristics and chemical composition of the spring waters were documented (visible in the concentrations of SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ and K^+), resulting from human impact and good isolation of water-bearing horizons. It was also found that the spring waters were heavily contaminated with nitrates, which reflects the intensive agricultural activity in the Rawska Upland.

Key words: springs, chemical composition, discharge, human impact, Nowe Miasto nad Pilicą

¹ Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Katedra Geografii Fizycznej, Zakład Hydrologii, ul. Krakowskie Przedmieście 30, 00-927 Warszawa; e-mail: m.laszewski@uw.edu.pl, ORCID: 0000-0003-3066-269X

² Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, ul. Krakowskie Przedmieście 30, 00-927 Warszawa; e-mail: k.stepniewski2@student.uw.edu.pl, ORCID: 0000-0002-3174-2328; e-mail: p.kowalczyk25@student.uw.edu.pl, ORCID: 0009-0009-8967-3845; e-mail: wb.malinowsk@student.uw.edu.pl, ORCID: 0009-0007-9807-1817; e-mail: w.skorupa2@student.uw.edu.pl, ORCID: 0000-0001-7491-679X; e-mail: a.sobkowicz2@student.uw.edu.pl, ORCID: 0009-0002-8971-1222; e-mail: k.zaba@student.uw.edu.pl, ORCID: 0009-0002-3507-0212

Wprowadzenie

Źródła odgrywają szczególną rolę w przyrodzie, stanowiąc swoisty łącznik między podziemnym i powierzchniowym obiegiem wody (Jokiel, Michalczyk 2019). Wyptywy wód podziemnych różnią się między sobą formą, położeniem względem rzeźby terenu, właściwościami fizyczno-chemicznymi wód oraz wydajnością, co zarówno w czasach historycznych, jak i obecnie, pozwala im pełnić różne funkcje nierzadko przenikające się nawzajem (Moniewski 2004). Względnie stałe warunki termiczne i nieznacznie tylko zmienny skład jonowy sprawia, iż źródła należą do wyjątkowych ekosystemów – postrzegane są jako siedliska ważne w kontekście zachowania bioróżnorodności, w których mogą występować endemiczne i relikto-we gatunki fauny i flory, a ponadto wyróżniają się specyficzny mikroklimat (Baścik, Chełmicki 2004). Jako miejsca skoncentrowanego wypływu wód źródła od wieków zaopatrywały ludzi w wodę pitną o bardzo dobrej jakości, zwłaszcza w górach i na obszarach wyżynnych (Baścik, Chełmicki 2004; Jokiel, Michalczyk 2019). Źródła odznaczają się również wyjątkowym znaczeniem w wymiarze kulturowym – od dawnych czasów bowiem przypisywano ich wodom lecznicze, a nawet cudowne właściwości, wskutek czego stawały się one z czasem miejscami *sacrum* (Jekatierynczuk-Rudczyk 2021). Lecznicze właściwości wód źródłanych zapoczątkowały powstawanie uzdrowisk specjalizujących się w balneoterapii, jak również wpłynęły na przekształcanie naturalnego krajobrazu obszarów źródłiskowych poprzez wprowadzanie budowli architektonicznych (na przykład kapliczek, źrójów i ozdobnych konstrukcji). Obszary źródłiskowe zapewniają unikatowe doznania estetyczno-sensualne, co sprawia, że uznawane są one przez lokalne społeczności za istotny i atrakcyjny element środowiska, zwiększając turystyczno-rekreacyjne znaczenie regionów (Baścik, Chełmicki 2004; Siwek, Baścik 2013; Jokiel, Michalczyk 2019).

Hydrologiczne i hydrogeologiczne badania wód źródeł opierają się najczęściej na ocenie czasowej zmienności i przestrzennego zróżnicowania ich temperatury, chemizmu i wydajności. Pozwalają na określenie warunków krążenia wody w drenowanej warstwie wodonośnej (Baścik, Chełmicki 2004) oraz ocenę stanu środowiska (Mazurek 2008) i jego przemian zachodzących na skutek procesów naturalnych oraz antropogenicznych (Michalczyk 2007; Jokiel, Michalczyk 2019). W tym kontekście najwięcej uwagi poświęcono dotychczas wypływom położonym w połud-

niowej Polsce, co można łączyć z mnogością tamtejszych źródeł, a także dużym znaczeniem gospodarczym oraz leczniczym ich wód (Baścik, Chełmicki 2004). Należy wspomnieć choćby o pracach dotyczących reżimu wydajności oraz składu chemicznego źródeł tatrzańskich (Małecka 1997b; Żelazny 2012; Gromadzka i in. 2015), pienińskich (Humnicki 2007, 2015), beskidzkich (Satora i in. 2010; Józefko i in. 2013; Madzia, Krywult 2017; Kisiel i in. 2018), sudeckich (Marszałek 1989; Bartnik 2007; Buczyński, Rzonca 2013), a także o ponadregionalnym opracowaniu Bartnika i Moniewskiego (2018), dotyczącym wydajności źródeł obszaru Karpat i Sudetów. Bogatej literatury krenologicznej doczekały się również niezmiernie atrakcyjne krajobrazowo źródła pasa wyżyn, między innymi Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej i Miechowskiej (Chełmicki 2001), Wyżyny Lubelskiej i Roztocza (Rederowa 1971; Michalczyk 1997, 2001; Michalczyk i in. 2015, 2020) oraz Wyżyny Śląskiej (Smolarek i in. 2005).

Odmiennie, choć z pewnymi wyjątkami, należy ocenić stan badań krenologicznych obszarów staro- i młodoglacjalnych środkowej i północnej Polski. Jak podkreślili Choiński i Ptak (2009), obszar niżu jest pod tym względem najslabiej zbadany, a współczesne publikacje dotyczą wyłącznie wybranych, niewielkich obiektów. Brak tu bez wątpienia opracowań ponadregionalnych, co można wiązać z niedostatecznym stopniem inwentaryzacji istniejących porowych wypływów wód podziemnych (Jokiel, Michalczyk 2019). Z obszaru północnej Polski na uwagę zasługuje literatura dotycząca źródeł w rejonie Białegostoku i Puszczy Knyszyńskiej (Jekatierynczuk-Rudczyk 2007; Chomutowska, Kryjan 2014; Jekatierynczuk-Rudczyk i in. 2022), dorzecza Parsęty (Mazurek 2008; Mazurek i in. 2014) i Postomii (Siepak i in. 2023) oraz Wybrzeża Słowińskiego (Florek i in. 2014) i Lęborka (Fac-Beneda 2008; Górnjak, Pietryczuk 2015). W centralnej części Polski względnie kompleksowo opracowano z kolei reżim wywierzysk krasowych w rezerwacie Niebieskie Źródła (Małecka 1997a; Małecki 1997), źródeł Wzniesień Łódzkich (Maksymiuk, Moniewski 2000; Moniewski 2004) oraz wypływów położonych u podnóża skarpy warszawskiej w Warszawie (Pich, Płochniewski 1968; Kużawa, Gutry-Korycka 2002; Dziedziczak 2006). Stan rozpoznania cech pozostałych – bardzo licznych i jednocześnie niezbyt wydajnych wypływów Niżu Polskiego związanych przede wszystkim z dolinami rzecznyymi – jest jednak niewystarczający i wymaga dalszych prac inwentaryzacyjnych oraz badawczych (Jokiel, Michalczyk 2019).

W świetle przedstawionych powyżej informacji zdecydowano się na rozpoczęcie badań krenologicznych w słabo rozpoznanym do tej pory obszarze nizinnym, obejmującym skarpę erozyjną Pilicy w Dolinie Białobrzesckiej. Wybór okolic Nowego Miasta podyktowany był istotną rolą wód źródłanych w historii i kulturze tego miasta, co zostało przedstawione w dalszej części opracowania. Szczegółowe cele badawcze opracowania objęły: identyfikację przestrzennego zróżnicowania wydatku oraz podstawowych cech fizyczno-chemicznych wybranych źródeł (1); określenie składu chemicznego ich wód (2); oraz ocenę oddziaływań antropogenicznych na skład chemiczny wód (3).

Obszar badań

Badania prowadzono w południowo-zachodniej części województwa mazowieckiego w rejonie miejscowości Łęgonice, Nowe Miasto nad Pilicą oraz Wola Pobiedzińska. Według podziału fizycznogeograficznego obszar badań zlokalizowany jest w podprovincji Nizin Środkowopolskich, a źródła położone są na granicy dwóch mezoregionów: Wysoczyzny Rawskiej i Doliny Białobrzesckiej (Richling i in. 2021). Pierwszy z mezoregionów zbudowany jest z glin zwałowych, piasków oraz żwirów wodnolodowcowych i odznacza się zróżnicowanym krajobrazem; płaskie i faliste równiny przeplatają się z niewielkimi pagórkami morenowymi. Na południu Wysoczyznę Rawską rozcina krawędź doliny Pilicy, należąca do Doliny Białobrzesckiej, zbudowanej przede wszystkim z piasków, mułków i torfów rzecznych (Richling i in. 2021). Strone zbocza doliny Pilicy osiągają w rejonie prowadzonych badań względną wysokość nawet 30 m i są z reguły porośnięte lasem bądź roślinnością krzewiastą.

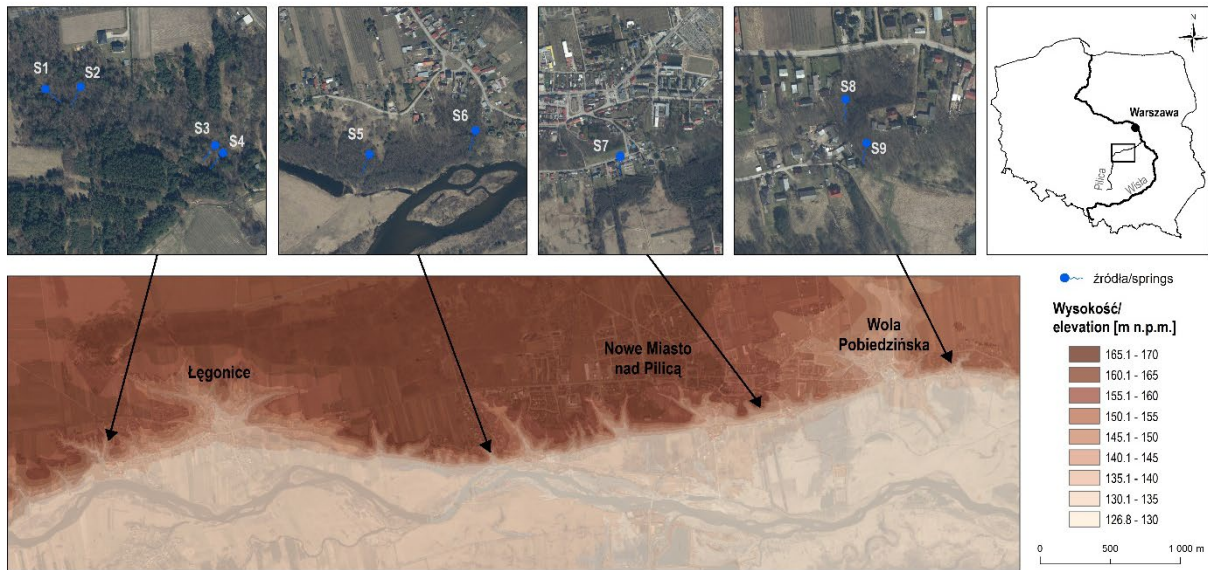
Obszar Wysoczyzny Rawskiej charakteryzuje się dominującym udziałem użytków rolnych w całkowitym pokryciu terenu. Jego największą część zajmują uprawy zbóż i roślin okopowych (Wojtyna i in. 2010), natomiast aż 25,1% ich powierzchni stanowią sady, głównie z uprawami jabłoni (Wójcik, Traczyk 2017). Jest to obszar zasilania warstwy wodonośnej drenowanej przez badane źródła. Administracyjnie badany obszar należy do gminy miejsko-wiejskiej Nowe Miasto nad Pilicą; jej siedzibą jest wspomniane Nowe Miasto nad Pilicą o powierzchni 11,25 km² oraz liczbie ludności przekraczającej 3500 mieszkańców. Stopień zwodociągowania i skanalizowania miasta wynosi odpowiednio 99,9 i 71,9%, natomiast dla całej gminy miejsko-wiejskiej –

– odpowiednio 92 i jedynie 35,4% (Bank Danych Lokalnych – GUS. 2023).

Warto przytoczyć w tym miejscu historię Zakładu Przyrodoleczniczego, który odegrał ważną – a obecnie nieco zapomnianą – rolę w historii i rozwoju Nowego Miasta nad Pilicą. Ośrodek założony przez doktora Jana Kapistrana Bielińskiego został uruchomiony w 1874 roku i należał wówczas do najnowocześniejszych w Europie, a wśród licznych pacjentów i gości można wymienić między innymi Narcyzę Zmichowską, Henryka Sienkiewicza i Ignacego Paderewskiego (Kita 2016). Do zabiegów leczniczych oferowanych w ośrodku należały natryski i kąpiele w wodzie pochodzącej ze źródeł położonych u podnóża skarpy oraz w Pilicy, a ponadto różnorodne zajęcia fizyczne i odpowiednia dieta. Zakład został przejęty w 1915 roku przez armię niemiecką, a w wyniku działań wojennych uległ zniszczeniu; do dzisiaj zachował się jedynie wzniesiony w 1878 roku dawny dom doktora Bielińskiego oraz znajdujące się naprzeciwko niego źródło, zabezpieczone i obmurowane w 1938 roku (Jędrzejewska i in 2011; Kita 2016).

Materiały i metody

Badania porowych wypływów podboczowych okolic Nowego Miasta nad Pilicą zostały przeprowadzone w oparciu o własny monitoring terenowy. Rozpoznanie wypływów w obrębie stref źródłiskowych w Łęgonicach i Woli Pobiedzińskiej wskazało na ich znaczne zróżnicowanie pod względem cech fizyczno-chemicznych; wobec powyższego zdecydowano się objąć monitoringiem po dwa źródła w każdej strefie (rys. 1). Łącznie na potrzeby monitoringu wytypowano dziewięć źródeł descenzyjnych położonych na odcinku od Łęgonic na zachodzie do Woli Pobiedzińskiej na wschodzie. Badane źródła wypływają z porowych, polodowcowych utworów czwartorzędowych, zbudowanych z ułożonych naprzemiennie warstw słabiej przepuszczalnych glin, mułków i ilów oraz lepiej przewodzących wodę piasków drobno- i średnioziarnistych związanych ze zlodowaceniem południowo- i środkowopolskim. W Łęgonicach wyróżniają się dwie wyraźne strefy wypływów: źródła S1 i S2 położone są w obrębie piaszczystych wkładek między wychodzącymi na powierzchnię miąższymi pokładami glin zwałowych zlodowacenia Odry (Skompski i in. 2013), natomiast źródła S3 i S4 (fot. 1A) drenują położone niżej starsze utwory piaszczysto-pylaste ograniczone w spągu przez



Rys. 1. Położenie badanych źródeł na tle ortofotomapy oraz modelu wysokościowego terenu (na podstawie danych z Geoportalu 2024)

Location of investigated springs on the background of orthophotomap and DEM (based on the data from Geoportal 2024)



Fot. 1. Źródło S4 w strefie źródłiskowej w Łęgonicach (A) i źródło S7 przy ulicy Bielińskiego w Nowym Mieście nad Pilicą (B) (fot. M. Łaszewski 2023)

The S4 spring in Łęgonice (A) and S7 spring in Nowe Miasto nad Pilicą (B)

warstwę iłów. Położone w obrębie Nowego Miasta nad Pilicą wypływy S5 i S6 ulokowane są w obrębie warstw piasków pylastych oddzielonych w stropie warstwą pyłu i glin zwałowych, a w spągu ponad 30-metrową warstwą iłów. Woda źródła S7 w Nowym Mieście nad Pilicą (fot. 1B) wypływa z kolei z cienkiej warstwy piasków ograniczonych w stropie i spągu przez ropy pylaste. Źródła S8 i S9 w Woli Pobiedzzińskiej wypływają z miększych pokładów piasków pylastych oraz piasków drobnoziarnistych ograniczonych w stropie i spągu przez warstwy pyłów i iłów pylastych. W konsekwencji siedem wypływów (S3–

S9) sytuuje się na wysokości 135–137 m n.p.m., drenując główny czwartorzędowy horyzont wodonośny, natomiast dwa wypływy w górnej części strefy źródłiskowej w Łęgonicach (S1 i S2) położone są na wysokości około 150 m n.p.m. i odwadniają płytszy poziom nadglinowy (są to źródła stokowe).

Pomiary wybranych cech fizyczno-chemicznych wody prowadzono raz w miesiącu (w połowie każdego miesiąca) od listopada 2022 do października 2023 roku. Temperaturę wody źródeł [°C], pH oraz przewodnictwo elektrolityczne właściwe wody [$\mu\text{S}/\text{cm}$] mierzono bezpo-

średnio poniżej miejsca wypływu wody za pomocą mierników Hanna HI 98199 i HI 9811-5 (o dokładności odpowiednio $0,5^{\circ}\text{C}$, $0,02$ pH oraz $\pm 2,0$ $\mu\text{S}/\text{cm}$), okresowo kalibrowanych w roztworach wzorcowych. W terenie oznaczano również stężenie azotanów za pomocą fotometru Exaqua PRO3 i adaptacji standardowej metody badania wody ISO 13395:2001. Wydatek w przypadku S5, S6 i S7 określono za pomocą metody naczynia podstawionego (w S5 i S6 wydatek stanowi sumę poszczególnych wypływów w obrębie niszy źródłiskowej), natomiast w przypadku S1, S2, S3, S4, podobnie jak S8 i S9, metodą powierzchnia-prędkość w strugach zbiorczych w profilach poniżej stref źródłiskowych (rys. 1). Pomiar prędkości wykonywano na prostym i jednorodnym fragmencie strugi za pomocą akustycznego młynka hydrometrycznego OTT ADC.

Dwukrotnie w ciągu badanego okresu, w lutym oraz sierpniu 2023 roku, ze źródeł pobrano próbki wody celem oznaczenia jej składu chemicznego. Analizę makroskładników (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+} , SO_4^{2-} , Cl^{-} , F^{-}) i związków biogenych (PO_4^{3-} , NO_3^{-} , NO_2^{-} , NH_4^{+}) wykonano chromatografem jonowym Metrohm, natomiast HCO_3^{-} – metodą miareczkowania acydymetrycznego z HCl. Dodatkowo w sierpniu oznaczono stężenia wybranych mikroelementów (Li, Be, B, Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, I, Ba, Hg, Pb) za pomocą spektrometru mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie Perkin-Elmer Elan DRC-e. W większości pierwiastki te stanowią wskaźniki antropogenicznego zanieczyszczenia wód podziemnych (de Almeida Ribeiro Carvalho i in. 2022). Wybór terminów w lutym i sierpniu miał na celu określenie składu chemicznego wód źródłanych w różnych warunkach hydrologicznych oraz wegetacyjnych. Mineralizację całkowitą obliczono jako sumę jonów: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+} , NH_4^{+} , HCO_3^{-} , SO_4^{2-} , Cl^{-} , F^{-} , PO_4^{3-} , NO_3^{-} , i NO_2^{+} . Poprawność oznaczeń składu chemicznego wody w zakresie makroskładników oraz związków biogenych sprawdzono metodą bilansu jonowego; różnica sumy anionów i sumy kationów nie przekraczała 3,9% (a w większości analiz 1,5%) sumy składników jonowych, a zatem mieściła się w zakresie błędu akceptowanego (Żelazny 2012). Typ hydrochemiczny określono na podstawie powszechnie stosowanej klasyfikacji Szczukariewa-Prikłonskiego.

Przebieg wartości wydatku zestawiono na tle średnich miesięcznych wartości temperatur powietrza oraz sum opadów atmosferycznych pozyskanych ze stacji klimatologicznej IMGW-PIB w Dąbrówce Starej, położonej około 20 km

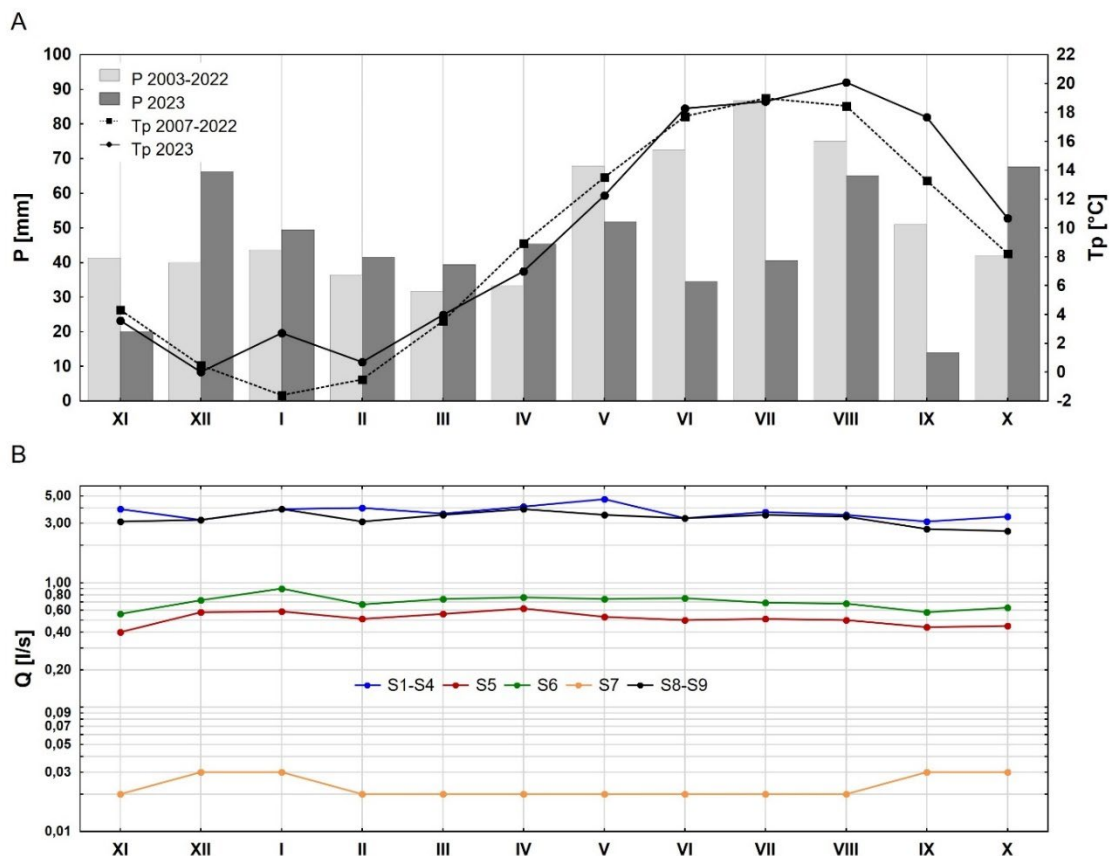
na północny-wschód od obszaru badań. Dla wydatku obliczono również współczynnik nieregularności, określający zasobność zbiornika wód podziemnych drenowanego przez źródło (Moniewski 2007). Pomocniczo obliczono również trzy wskaźniki hydrochemiczne (wodorowęglanowo-chlorkowy, sodowo-chlorkowy oraz siarczanowo-chlorkowy), pozwalające na wnioskowanie w zakresie warunków panujących w warstwie wodonośnej. Ich interpretację należy jednak traktować z ostrożnością, gdyż w założeniu są one stosowane głównie w przypadku wód naturalnych, niepoddanych antropopresji.

Wyniki

Wydatek źródeł na tle warunków hydro-meteorologicznych

Rok hydrologiczny 2023, w którym prowadzono monitoring wody źródeł, można uznać za ciepły i jednocześnie względnie suchy (rys. 2A). Średnia temperatura powietrza (miesiące XI–X) na stacji klimatologicznej IMGW-PIB w Dąbrówce Starej wyniosła $9,6^{\circ}\text{C}$ i była o $0,8^{\circ}\text{C}$ wyższa względem średniej z wielolecia 2007–2022. Najcieplejszym miesiącem okazał się sierpień ($20,1^{\circ}\text{C}$), natomiast najchłodniejszym grudzień ($0,0^{\circ}\text{C}$). Warto również zwrócić uwagę na wrzesień, w którym średnia temperatura wyniosła $17,7^{\circ}\text{C}$, co było wartością aż o $2,6^{\circ}\text{C}$ wyższą niż w najcieplejszym do tej pory wrześniu 2018 roku. Suma opadów w badanym roku osiągnęła 536 mm, co stanowiło 86,2% średniej rocznej sumy opadów z wielolecia 2003–2022. Najbardziej suchym miesiącem był wspomniany wrzesień (14 mm), najbardziej mokrym zaś – październik (67,6 mm). Suma opadów w półroczach: chłodnym (XI–IV) i ciepłym (V–X) była zbliżona i wyniosła odpowiednio 262 mm i 274 mm, co stanowiło jednak odpowiednio 115,8% oraz 69,3% wartości średniej z wielolecia 2003–2022 (rys. 2A).

Wydatek badanych wypływów był wyraźnie zróżnicowany przestrzennie (rys. 2B). Najwydajniejsza okazała się strefa źródłiskowa w Łęgonicach (S1–S4) drenująca dwa poziomy wodonośne i odprowadzająca średnio 3,7 l/s. Nieznacznie niższy średni wydatek zanotowano dla strefy źródłiskowej w Woli Pobiedzińskiej (S8 i S9) (3,3 l/s), natomiast najniższy odpływ charakteryzował źródło przy ulicy Bielińskiego (S7) – 0,02 l/s. Wydatek źródeł był względnie stabilny w ciągu badanego okresu (rys. 2B), o czym świadczą niskie wartości współczynników nieregularności



Rys. 2. Średnia temperatura powietrza (Tp) oraz suma opadów (P) na stacji meteorologicznej w Dąbrówce Starej na tle odpowiednich wartości z wielolecia (A) oraz wydatek badanych źródeł (Q) (B) w poszczególnych miesiącach roku hydrologicznego 2023 (na podstawie danych IMGW-PIB oraz pomiarów własnych)

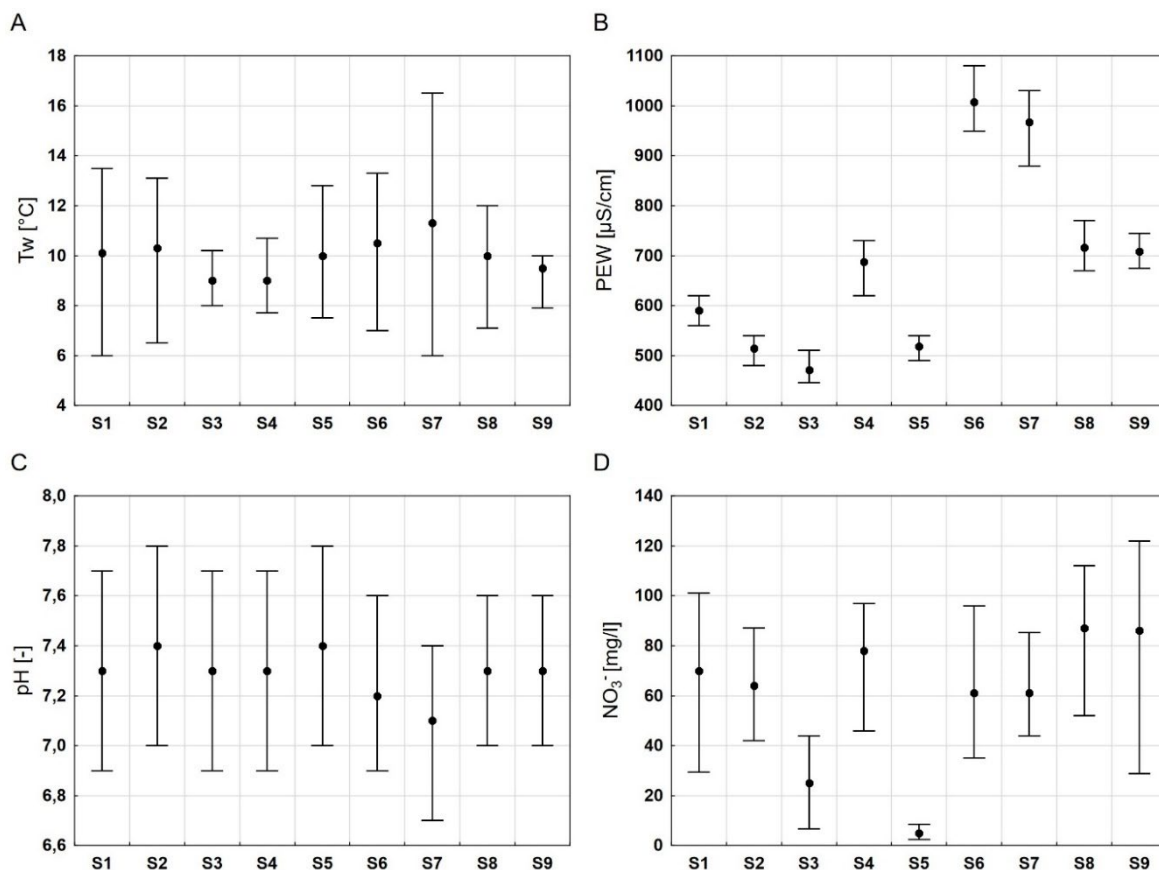
Course of mean air temperature (Tp) and total precipitation (P) at meteorological station in Dąbrówka Stara on the background of multi-annual values (A) and discharge of springs (Q) (B) in 2023 (based on IMWM-NRI data)

Mailleta, osiągające minimalnie 1,33 dla S7 i maksymalnie 1,60 dla S6. W przypadku wszystkich wypływów nieznacznie wyższy średni wydatek – od 2% do 11% – zanotowano w półroczu zimowym. Nie stwierdzono zależności między miesięcznymi sumami opadu a wydatkiem badanych źródeł.

Przestrzenne zróżnicowanie cech fizyczno-chemicznych

Badane źródła odznaczały się wyraźną heterogenicznością cech fizyczno-chemicznych wód (rys. 3). Średnia temperatura wody wynosiła 9,0–11,3°C; najniższą udokumentowano w źródłach S3 i S4, natomiast najwyższą w źródle przy ulicy Bielińskiego (S7). Mimo zbliżonych wartości średnich nawiązujących do średniej temperatury

powietrza, źródła odznaczały się zróżnicowanym zakresem temperatury wody. Wypływy z poziomu nadglinowego (S1 i S2) oraz w obrębie miasta (zwłaszcza S7) charakteryzowały się wyższą temperaturą maksymalną, która osiągnęła nawet 16,5°C (rys. 3A). Jeszcze większe zróżnicowanie zanotowano w przypadku przewodnictwa elektrolitycznego właściwego, które średnio osiągnęło przeciętnie od 471 $\mu\text{S}/\text{cm}$ w S3 do 1008 $\mu\text{S}/\text{cm}$ w S6 (rys. 3B). Wyższe wartości PEW notowano w wodach źródeł położonych w obrębie Nowego Miasta nad Pilicą oraz w Woli Pobiedzińskiej, a także w źródle S4 w Łęgonicach. Były one związane z większym zakresem zmienności przewodnictwa, które w źródle przy ulicy Bielińskiego (S7) osiągnęło 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$; dla porównania w źródle S5 wyniosło jedynie 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Odczyn pH niemal wszystkich wód był na ogół lekko zasadowy i wynosił średnio 7,2–7,3, a jedynie



Rys. 3. Rozkład zmierzonych wartości temperatury wody (A), przewodnictwa elektrolitycznego właściwego (B), pH (C) oraz stężenia azotanów (D) w badanych źródłach w roku hydrologicznym 2023.

Kropka wyznacza średnią, a wąsy wartości ekstremalne

Distribution of measured values of water temperature (A), specific conductivity (B), pH (C) and nitrate concentrations (D) in the studied springs during the hydrological year 2023.

Dots indicate mean value; whiskers indicate extreme values

w źródle S7 osiągnął 7,0. Zakres zmienności odczynu we wszystkich źródłach był zbliżony i nie przekraczał 0,6–0,8 jednostki (rys. 3C). Odminną sytuację zanotowano w przypadku stężeń azotanów NO_3^- ; ich wartości były zdecydowanie zróżnicowane przestrzennie, przeciętnie nawet kilkadziesiąt razy. Najbardziej zanieczyszczone NO_3^- okazały się źródła w Woli Pobiedzińskiej (średnio 87 i 86 mg/l odpowiednio w S8 i S9), natomiast najniższe stężenie tego związku biogenego udokumentowano w wodach źródła S5, gdzie wyniosło jedynie 5 mg/l (rys. 3D). Zmierzone stężenia w większości punktów, oprócz S3 i S5, były wysokie i przekraczały nierzadko 80 mg/l, osiągając maksymalnie nawet 122 mg/l. Należy zauważyć, iż względnie wysokie stężenia NO_3^- i jednocześnie dużą zmienność ich wartości zmierzono w źródłach S1 i S2 drenujących nadglinowy poziom wodonośny.

Skład chemiczny wód źródeł

Mineralizacja wody źródeł Nowego Miasta nad Pilicą charakteryzowała się wyraźnym zróżnicowaniem przestrzennym, osiągając od 381 mg/l w źródle S3 do 882 mg/l w źródle S6 (tab. 1). W konsekwencji wody badanych źródeł można sklasyfikować jako słodkie (S1, S2, S3 i S5) oraz akrotopęgi (S4, S6, S7, S8 i S9). W ujęciu średnim mineralizacja wód źródeł była względnie stała w czasie (porównując luty i sierpień 2023 roku), jednak ocena poszczególnych wpływów wskazuje na jej mniejsze bądź większe zmiany. Znaczny wzrost mineralizacji w okresie letnim udokumentowano w źródłach S4 i S8, natomiast w pozostałych wypływach stwierdzono zauważalnie niższą lub bardzo zbliżoną mineralizację w stosunku do okresu zimowego (tab. 1). Wartości wskaźnika wodorowęglanowo-chloro-

Tabela 1

Mineralizacja wody badanych źródeł oraz wybrane wskaźniki hydrochemiczne, obliczone na podstawie wyników oznaczeń składu chemicznego z lutego oraz sierpnia 2023 roku

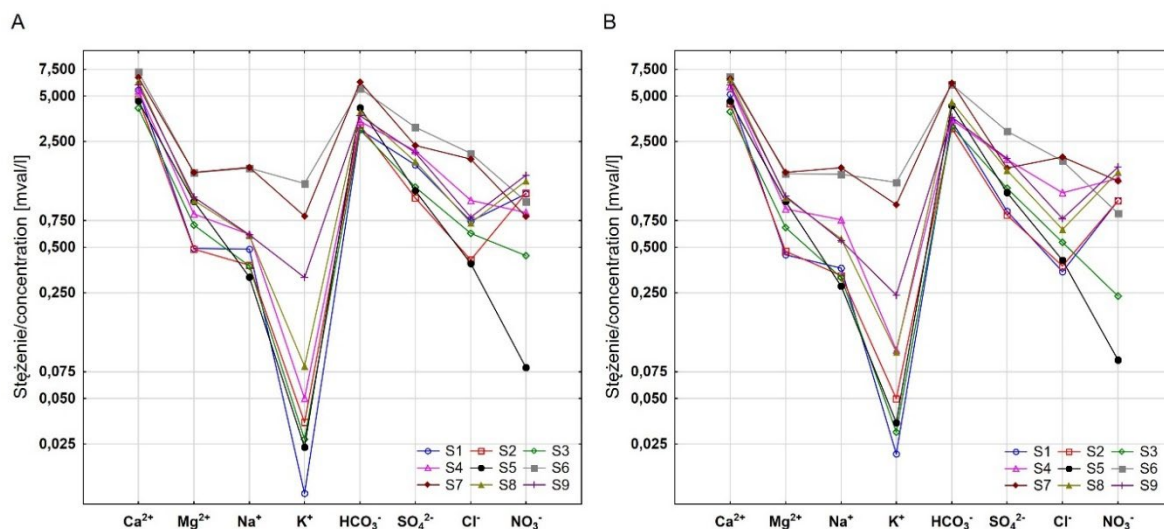
Mineralisation of investigated spring water and selected hydrochemical indicators, calculated based on results from February and August 2023

Parametr/ Parameter	Sezon/ Season	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Mineralizacja/ Mineralization [mg/l]	II	492	444	394	535	444	882	833	592	607
	VIII	444	407	381	582	452	862	835	635	601
$r \frac{\text{HCO}_3^-}{\text{Cl}^-}$	II	4,0	7,8	4,9	3,3	9,7	2,7	3,2	5,4	4,7
	VIII	9,9	8,2	5,8	3,0	10,6	3,2	3,1	7,0	4,7
$r \frac{\text{Na}^+}{\text{Cl}^-}$	II	0,66	0,92	0,61	0,60	0,81	0,80	0,88	0,82	0,77
	VIII	1,06	0,87	0,58	0,67	0,68	0,82	0,85	0,87	0,72
$r \frac{\text{SO}_4^{2-} \cdot 100}{\text{Cl}^-}$	II	236,4	257,8	202,5	212,2	301,5	149,1	122,9	254,1	267,2
	VIII	252,1	217,3	228,3	166,8	283,5	157,4	84,8	247,1	250,8

wego [$r \cdot (\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-)$] wskazują, iż wody wszystkich badanych źródeł należą do strefy aktywnej wymiany z wodami infiltracyjnymi, w największym stopniu w źródłach S1, S2 i S5. Potwierdziły to również wartości wskaźnika siarczanowo-chlorkowego [$r \cdot (\text{SO}_4^{2-} \cdot 100/\text{Cl}^-)$], które mieściły się w zakresie 100–500, charakterystycznym dla wód infiltracyjnych. W przypadku wskaźnika sodowo-chlorkowego [$r \cdot (\text{Na}^+/\text{Cl}^-)$] wartości sugerują jednak utrudnioną wymianę wody, zwłaszcza w źródłach S3 i S4, w których wskaźnik ten osiągnął najniższe wartości z zdecydowanie poniżej granicy wynoszącej 1 (tab. 1).

Bez względu na sezon w składzie chemicznym wód źródeł wśród anionów dominowały jony HCO_3^- , które stanowiły średnio 53,9% sumy wszystkich anionów w mval/l (rys. 4). Zauważalny był również wysoki udział siarczanów (21,9%) oraz azotanów (12,7%) przy nieco mniejszym udziale chlorków (średnio 11,1%). Wśród kationów wyraźnie dominował wapń, który stanowił średnio 75,4% mval/l ich sumy. Kolejno największym udziałem wśród kationów odznaczył się magnez (12,6%) oraz sód (8,7%), jednak w źródłach S6 i S7 udział sodu przekraczał nieznacznie udział magnezu (rys. 4). Zwracają uwa-

gę bardzo znaczące różnice udziału poszczególnych jonów w wodach badanych źródeł, widoczne przede wszystkim w przypadku HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Ca^{2+} , Na^+ oraz K^+ . Porównanie składu chemicznego pomiędzy sezonami (luty–sierpień) wskazuje na wyraźny spadek stężeń SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} oraz Na^+ przy jednoczesnym wzroście stężeń HCO_3^- , NO_3^- oraz K^+ (tab. 2). W konsekwencji typ hydrochemiczny źródeł okolic Nowego Miasta nad Pilicą według klasyfikacji Szczukariewa-Prikłońskiego uległ zmianie – w sezonie zimowym należał do typu trzyjonowego $\text{HCO}_3\text{--SO}_4\text{--Ca}$ (wszystkie wypływy oprócz S2), natomiast latem reprezentował przeważnie dwujonowy $\text{HCO}_3\text{--Ca}$ (S1, S2, S5, S7 i S8). Należy jednak zaznaczyć, iż udział SO_4^{2-} oscylował z reguły wokół 20% mval/l, przyjmowanych jako granicę klasyfikacji. W konsekwencji zmiany typu hydrochemicznego na $\text{HCO}_3\text{--Ca}$, o ile wystąpiły, były z reguły spowodowane bardzo nieznacznym spadkiem stężeń siarczanów o kilka/kilkanaście mg/l, tak jak w przypadku wód źródeł S5 i S8. Warto odnotować pojawienie się latem typu czterojonowego $\text{HCO}_3\text{--SO}_4\text{--NO}_3\text{--Ca}$ w najbardziej zanieczyszczonym azotanami źródle S9.



Rys. 4. Stężenia głównych kationów i anionów w mval/l w wodach poszczególnych źródeł w lutym (A) i sierpniu (B) 2023 roku

Concentrations of the main cations and anions in mval/l in the waters of individual springs in February (A) and August (B) 2023

Tabela 2

Skład chemiczny wód badanych źródeł w lutym oraz sierpniu 2023 roku

Chemical composition of the investigated spring water in February and August 2023

Jon/ Ion	II 2023		VIII 2023	
	Zakres/ Range [mg/l]	Średnia/ Mean [mg/l]	Zakres/ Range [mg/l]	Średnia/ Mean [mg/l]
Ca ²⁺	83,0–144,6	112,41	78,7–134,4	110,12
Mg ²⁺	5,9–18,9	11,76	5,4–19,0	11,80
Na ⁺	7,3–38,8	17,18	6,4–38,7	16,26
K ⁺	0,5–51,6	11,57	0,8–52,5	12,52
NH ₄ ⁺	0,00–0,16	0,06	0,03–0,41	0,15
HCO ₃ ⁻	183,1–378,3	245,3	186,7–371,6	255,3
SO ₄ ²⁻	51,1–149,7	89,84	39,2–140,5	75,34
Cl ⁻	13,9–74,1	34,28	12,2–69,9	31,76
F ⁻	0,11–0,54	0,23	0,07–0,29	0,23
NO ₃ ⁻	4,9–93,0	57,17	5,5–105,5	63,83
NO ₂ ⁺	0,01–0,04	0,02	0,01–0,02	0,02
PO ₄ ³⁻	0,04–2,33	0,45	0,02–1,97	0,32
Mineralizacja/ Mineralization	393,6–881,6	580,3	380,7–862,0	577,6
Błąd analizy/ Analysis error	0,3–3,9%	1,5%	0,2–2,9%	1,7%

Zróźnicowanie stężeń wybranych mikroelementów

Stężenia wybranych mikroelementów w wodach badanych źródeł były wyraźnie zróźnicowane przestrzennie. Najwyższe koncentracje boru, chromu, kobaltu, niklu, miedzi, cynku, selenu, antymonu, jodu oraz baru udokumentowano w wodach źródeł S6 i S7 w obrębie Nowego Miasta nad Pilicą (tab. 3). W przypadku rtęci oraz ołowiu najwyższe stężenia stwierdzono jednak w wodach źródeł S1 i S2, położonych w Łęgonicach i reprezentujących poziom nadglinowy. Należy zaznaczyć, iż podwyższone stężenia wielu pierwiastków zanotowano również w wodach źródła S4

(między innymi kobaltu, miedzi, antymonu i baru), natomiast wody źródła S3, S5 i S9 były względnie najmniej zanieczyszczone. W wodach niemal wszystkich źródeł notowano bardzo niskie stężenia żelaza i manganu, nieprzekraczające kilkunastu $\mu\text{g/l}$ (tab. 3); maksymalne wartości koncentracji tych jonów oznaczono w wodzie źródła S3, w którym pojawiły się typowe żółto-brunatne wytrącenia w miejscu wypływu wody. W pobranych próbkach wody nie oznaczono jonów glinu i srebra, natomiast w przypadku jonów berylu oraz kadmu, z uwagi na stężenia na granicy oznaczalności ($0,01 \mu\text{g/l}$), trudno wskazać wyraźne prawidłowości przestrzenne.

Tabela 3

Stężenia wybranych mikroelementów w wodach badanych źródeł w $\mu\text{g/l}$
Concentrations of selected trace elements in spring water in $\mu\text{g/l}$

Pierwiastek/ Element	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Li	4,27	4,11	4,17	4,97	7,04	18,69	9,11	4,44	4,4
Be	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
B	12,18	18,44	6,45	32,99	5,63	194,93	199,85	24,67	25,63
Al	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
V	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,27	<0,01	<0,01	<0,01
Cr	6,11	6,07	5,19	5,87	6,86	9,81	9,44	7,26	5,44
Mn	0,07	0,04	16,34	0,16	5,95	0,2	0,13	0,04	0,05
Fe	1,2	6,4	13,1	1,9	2,4	3,2	8,5	<0,01	3,2
Co	0,63	0,53	0,44	0,65	0,48	0,78	0,66	0,6	0,51
Ni	3,6	3,13	2,72	4,08	2,91	6,53	4,71	4,04	3,57
Cu	1,2	1,27	1,18	1,92	0,84	1,92	2,29	1,45	1,31
Zn	0,64	1,89	0,74	1,12	0,5	1,25	11,01	4,69	0,9
As	0,06	0,13	0,32	0,25	<0,01	0,87	3,4	0,43	0,74
Se	0,42	0,6	0,65	0,66	0,29	1,79	1,57	0,57	0,52
Mo	0,04	0,02	0,48	0,2	0,57	1,41	0,55	0,05	0,09
Ag	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cd	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01	<0,01
Sn	0,01	0,02	0,01	0,01	<0,01	0,01	0,08	0,02	<0,01
Sb	0,09	0,07	0,1	0,15	0,04	0,16	0,13	0,07	0,07
I	4,26	6,14	0,96	2,69	1,56	8,65	5,15	5,13	9,51
Ba	16,72	19,05	39,88	36,18	62,33	0,11	79	31,43	28,85
Hg	0,14	0,08	0,02	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Pb	0,07	0,26	0,02	0,01	<0,01	0,01	0,1	0,03	0,01

Uwagi: na szaro zaznaczono najwyższe stężenia dla poszczególnych pierwiastków
Notes: grey indicates the highest concentrations of selected trace elements

Podsumowanie i dyskusja

Jednoroczny cykl pomiarów wydatku źródeł wykazał, iż większość badanych wypływów porowych (oprócz S7) można zaliczyć do VI klasy wydajności według Meinzera (0,1–1,0 l/s); mimo braku bezpośrednich pomiarów wydatku źródeł S1–S4 i S8–S9 (pomiar wykonywano zbiorczo dla stref źródłiskowych), ich wydatek również szacunkowo mieścił się w tym zakresie. Choć z uwagi na krótki okres pomiarowy wnioskowanie dotyczące sezonowej zmienności wydatku należy traktować poglądowo – niekiedy bowiem wydajność źródeł jest uzależniona od zasilania atmosferycznego rozpatrywanego w kilkuletnim okresie (Michalczyk i in. 2015) – to na podstawie wartości współczynników Mailleta reżim wydajności źródeł można określić jako stały (Pazdro, Kozerski, 1990). Wynika to z rozległości horyzontu wodonośnego drenowanego przez badane źródła warunkującego stabilność dopływu wody (Kuzawa, Gutry-Korycka 2002). W powyższym kontekście należy jednak zwrócić uwagę na metodyczny aspekt pomiarów łącznego wydatku źródeł w strefach źródłiskowych; w takich miejscach bowiem błąd oszacowania wydatku może być istotny ze względu na potencjalnie największą możliwość dopływu do źródeł płytkich wód infiltracyjnych. W przypadku badanych źródeł dotyczy to szczególnie strefy w Łęgonicach, której powierzchnia wynosi kilkadziesiąt tysięcy m².

Typ hydrochemiczny źródeł okolic Nowego Miasta nad Pilicą (HCO₃–Ca, HCO₃–SO₄–Ca) należy do klas powszechnych dla naturalnych wód podziemnych obszarów staro- i młodogłacjalnych (Siepak i in. 2023) kształtowanych pod wpływem czynników geogenicznych, jak również antropogenicznych (Nowicki, Sadurski 2010). W porównaniu do innych źródeł nizinnych drenujących czwartorzędowe utwory porowe (między innymi Szczucińska 2016; Jekaterynczyk-Rudczyk i in. 2022) na uwagę zasługują względnie wysokie stężenia Ca²⁺ notowane w wodach niemal wszystkich źródeł, wskazujące na dużą zasobność występujących w okolicach Nowego Miasta utworów polodowcowych (glin, pyłów i mułków) w CaCO₃. Wyróżniające okazały się również bardzo wysokie stężenia NO₃⁻ przekraczające w niemal wszystkich źródłach wartość 50 mg/l oznaczającą w rozumieniu Dyrektywy Azotanowej zagrożenie zanieczyszczeniem tymi jonami. Źródłem tak wysokich stężeń NO₃⁻ są przede wszystkim nawozy sztuczne i naturalne stosowane w rolnictwie, a także intensywna hodowla zwierząt gospodar-

skich (Pietrzak 2012). Jony NO₃⁻, podobnie jak SO₄²⁻ i K⁺, również obecne w znacznych koncentracjach mogą pochodzić ponadto ze ścieków bytowo-gospodarczych, zwłaszcza w obszarach pozabawionych sieci kanalizacyjnej (Siwek 2004, 2012), do których należy wiejska część gminy Nowe Miasto nad Pilicą. Największe zanieczyszczenie jonami NO₃⁻ dotyczyło źródeł położonych na wschód od Nowego Miasta, w rejonie Woli Pobiedzińskiej; w ich niedalekim sąsiedztwie w strukturze użytkowania terenu dominują grunty orne oraz zabudowa wiejska. Podwyższone względem pozostałych wypływów stężenia NO₃⁻ w źródłach S1 i S2 można wiązać dodatkowo z płytkim położeniem warstwy wodonośnej – na skutek słabszej izolacji drenowany poziom nadglinowy jest zdecydowanie bardziej podatny na migrację zanieczyszczeń pochodzenia rolniczego. Brak wyraźnego cyklu sezonowego oraz wartości stężeń NO₃⁻ przekraczające regularnie 50 mg/l pozwalają przypuszczać, iż zanieczyszczenie azotanami wód podziemnych okolic Nowego Miasta nad Pilicą ma charakter powszechny i trwałe.

Różne położenie źródeł względem zabudowy Nowego Miasta nad Pilicą umożliwiło uchwycić wyraźny wpływ obszarów zurbanizowanych na ich cechy fizyczno-chemiczne. Najwyższą mineralizację i jednocześnie koncentrację jonów SO₄²⁻, Cl⁻, PO₄³⁻, Na⁺ oraz K⁺, stanowiących bezpośrednie wskaźniki antropopresji (Mazurek 2008; Florek i in. 2014; Michalczyk i in. 2019), zanotowano w źródłach S6 i S7, wypływających w obrębie miasta. Wypływy te odznaczały się ponadto najwyższą temperaturą wody oraz zmiennością PEW i jednocześnie najniższym przeciętnie odczynem. Pomimo iż Nowe Miasto nad Pilicą nie należy do ośrodków przemysłowych, w jego granicach zlokalizowanych jest wiele drobnych warsztatów i zakładów, szpital oraz reaktywowana w 2018 roku jednostka wojskowa i lotnisko. Jak udokumentowano w literaturze, obszary zurbanizowane odpowiadają za wzbogacanie wód podziemnych w jony, między innymi poprzez odcieki z sieci kanalizacyjnej, nieszczelne szamba, uwalnianie jonów ze składowisk odpadów oraz zimowe utrzymanie dróg i chodników (Kuzawa, Gutry-Korycka 2002; Dziedziczak 2006; Siepak i in. 2023). Presję miasta na wody podziemne potwierdziły również wyniki oznaczeń mikroelementów – ich najwyższe stężenia zanotowano bowiem w wodach źródeł S6 i S7, a wartości te były nawet kilkadziesiąt razy wyższe niż w wodach pozostałych źródeł (dotyczyło to boru, cynku, arsenu i molibdenu). Zanieczyszczenie to należy jednak uznać za niewielkie, bowiem stężenia wybranych

mikroelementów nie przekraczały norm dla wody pitnej zawartych w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 07.12.2017. Zdecydowanie interesującym badawczo przypadkiem było natomiast zróżnicowanie cech fizyczno-chemicznych wód źródeł położonych w bliskiej odległości od siebie, które miało miejsce w przypadku wypływów S3 i S4 oraz S5 i S6. Odmienność ich składu chemicznego wskazuje na lokalnie izolowany przepływ wody w warstwie wodonośnej; fakt ten pośrednio potwierdzają wartości wskaźnika sodowo-chlorkowego, które w przypadku S3, S4 i S5 osiągnęły najniższe wartości. Zróżnicowane cechy chemiczne źródeł mogą również wynikać z lokalnych ognisk zanieczyszczeń, co potwierdzili uprzednio między innymi Maksymiuk i Moniewski (2000) oraz Siwek (2004).

Skład chemiczny wód badanych źródeł charakteryzował się niewielkim zróżnicowaniem sezonowym; porównanie mineralizacji w sierpniu względem lutego wskazuje na jej niewielki spadek bądź bardzo zbliżone wartości. Za wzrost mineralizacji latem odnotowany w źródłach S4 i S8 w największym stopniu odpowiadał wzrost stężeń NO_3^- , który przypuszczalnie mógł mieć charakter incydentalny – wypływy te należą bowiem do wzbogaconych w jony pochodzenia antropogenicznego, na co wskazuje również duża zmienność temperatury wody oraz PEW. Pomijając wypływy podlegające ewidentnej antropopresji, należy podkreślić względnie dużą stabilność składu chemicznego wód badanych źródeł, którą potwierdza porównanie stężeń oznaczonych w źródle S5 z wartościami uzyskanymi w ramach kartowania hydrogeologicznego w maju 2001 roku. Dla przykładu, stężenia Ca^{2+} w pomiarach Skompskiego i in. (2013) wyniosły 78,5 mg/l (względem 92,76 mg/l obecnie), Na^+ 6,8 mg/l (obecnie 7,3 mg/l), SO_4^{2-} 58 mg/l (56,8 obecnie), Cl^- 16 mg/l (13,9 mg/l obecnie), natomiast NO_3^- 4,9 mg/l (4,9 mg/l obecnie). Skład chemiczny wód źródła S5 nie uległ zatem istotnym zmianom w okresie 22 lat, co dowodzi stabilności hydrochemicznej wodonośca oraz jednocześnie dobrej izolacji systemu krążenia wody zasilającej wspomniany wypływ.

Ponadto uzyskane w pracy wyniki warto omówić na tle historycznych informacji dotyczących cech ilościowych i jakościowych wód źródeł zasilających Zakład Przyrodolecznicy w Nowym Mieście nad Pilicą. W ostatnich dekadach XIX wieku ich wody odznaczały się dużą zawartością części wapiennych, przyjemnym smakiem i stałą temperaturą nieprzekraczającą 7,5–8,2°C, a same źródła znaczną wydajnością (tak zwane

źródło „Browarne” napełniało 25 tysięcy wiader na dobę) (Bieliński 1876). Potwierdziła się część obserwacji sprzed niemal 150 lat – wody wszystkich źródeł charakteryzują się wysokimi stężeniami jonów Ca^{2+} , osiągającymi przeważnie 80–120 mg/l. Temperatura wody źródeł jest obecnie nieco wyższa i przekracza 10–12°C, co można uznać jednak za tendencję ponadregionalną, związaną przede wszystkim ze stopniowym wzrostem średniej rocznej temperatury powietrza w Polsce od końca XIX wieku (Trepieńska i in. 1997). Podwyższona temperatura wody w źródłach S6 i S7 względem wypływów położonych poza miastem wskazuje również na znaczenie antropogenicznych źródeł ciepła w kształtowaniu ich współczesnego reżimu termicznego. W przeciwieństwie do temperatury wydatek źródeł w XIX wieku był z kolei wyższy niż obecnie, w przypadku największego źródła przy ulicy Browarnej wynosił bowiem około 3,6 l/s (przy założeniu pojemności wiadra jako 12,3 l). Jak wskazały pomiary z 2023 roku jedyne czynne obecnie źródło w pobliżu dawnej lokalizacji Zakładu Przyrodolecznicy charakteryzuje się wydatkiem rzędu 0,02 l/s. W ciągu 150 lat stopień nieprzepuszczalności obszaru Nowego Miasta nad Pilicą wzrósł jednak w sposób diametralny, co w połączeniu z jego skanalizowaniem oraz przemodelowaniem skarpy znacząco przyczyniło się do zmiany warunków infiltracji prowadzących do zmniejszenia wydatku wypływów oraz zmiany ich charakteru. W ten sposób u podnóża skarpy w rejonie ulicy Bielińskiego obserwowane są obecnie liczne, nieskoncentrowane wycieki, okresowo o znacznej wydajności.

Podziękowania

Autorzy wyrażają wdzięczność firmom Exaqua oraz Zoolek za wsparcie techniczne prowadzonych badań. Autorzy dziękują także pracownikom Muzeum Regionalnego w Nowym Mieście nad Pilicą za udostępnienie materiałów dotyczących Zakładu Przyrodolecznicy.

Literatura

- Bank Danych Lokalnych – Główny Urząd Statystyczny. 2023. Online: <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/dane/teryt/kategoria/1854> (data ostatniego dostępu: 13.01.2024)
- Bartnik A. 2007. Zróżnicowanie przestrzenne wybranych cech fizykochemicznych wody źródeł zlewni Bystrzycy Dusznickiej. W: P. Jo-

- kiel, P. Moniewski, M. Ziułkiewicz (red.) *Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne*. Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź: 145-151.
- Bartnik A., Moniewski P. 2018. Wieloletnia i sezonowa zmienność wydajności źródeł Sudeatów i Karpat. *Prace Geograficzne* 155: 7-26.
- Baścik M., Chełmicki W. 2004. Źródło jako obiekt badań interdyscyplinarnych. W: B. Izmań (red.) *Przyroda–Człowiek–Bóg*. Wyd. IGiPZ Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków: 149-170.
- Bieliński J. 1876. Zakład Przyrodo-Leczniczy dra Bielińskiego w Nowem Mieście nad Pilicą. Warszawa, Drukiem Józefa Ungera.
- Buczyński S., Rzonca B. 2013. Wstępne wyniki badań hydrogeologicznych źródeł w Górach Orlickich (Rejon Zieleńca i Zakouti). *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 456: 45-50.
- Chełmicki W. 2001. Źródła Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej i Miechowskiej. Wyd. IGiPZ Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.
- Choiński A., Ptak M. 2009. Obiekty krenologiczne dorzecza Odry. *Przeгляд Geograficzny* 81 (3): 365-372.
- Chomutowska H., Kryjan T. 2014. Fizykochemiczne właściwości wybranych źródeł Puszcy Knyszyńskiej. *Inżynieria Ekologiczna* 37: 50-61.
- de Almeida Ribeiro Carvalho M., Botero W.G., de Oliveira L.C. 2022. Natural and anthropogenic sources of potentially toxic elements to aquatic environment: a systematic literature review. *Environmental Science and Pollution Research* 29: 51318-51338.
- Dziedziczak R. 2006. Antropomineralne wody źródeł Warszawy. *Przeгляд Geologiczny* 54(11): 982-986.
- Fac-Beneda J. 2008. Naturalne wypływy wód podziemnych w obszarach chronionych w północnej Polsce. W: J. Partyka, J. Pociask-Karteczka (red.) *Wody na obszarach chronionych*. Wyd. IGiPZ Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków: 133-141.
- Florek W., Pasamonik I., Szyca K. 2014. Chemizm wód źródła w Poddąbiu na tle cech środowiska i morfologii niszy źródłiskowej. *Ślupskie Prace Geograficzne* 11: 15-32.
- Geoportal (Geoportal Infrastruktury Informacji Przestrzennej). 2024. Online: <https://mapy.geoportal.gov.pl> (data ostatniego dostępu: 01.03.2024).
- Górniak A., Pietryczuk A. 2015. Źródła okolic Łęborga (północna Polska). *Gospodarka Wodna* 5: 135-139.
- Gromadzka M., Wolanin A., Żelazny M., Pęksa Ł. 2015. Physical and chemical properties of the Goryczkowe and Bystrej Górne vaucuse springs in the Tatra Mountains. *Hydrology Research* 46(6): 954-968.
- Humnicki W. 2007. Reżim hydrogeologiczny źródeł pieniąskich na przykładzie źródła kontrolnego Balarówka w Tylce. W: P. Jokiel, P. Moniewski, M. Ziułkiewicz (red.) *Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne*. Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź: 72-80.
- Humnicki W. 2015. Zmiany wydajności monitorowanych źródeł w Pienińskim Parku Narodowym w latach 2003–2014 (Pieniński Pas Skałkowy). *Przeгляд Geologiczny* 63(10/1): 750-755.
- Jekatierynczuk-Rudczyk E. 2007. Charakterystyka jakości wody naturalnych wypływów wód podziemnych Białegostoku. W: P. Jokiel, P. Moniewski, M. Ziułkiewicz (red.) *Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne*. Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź: 183-189.
- Jekatierynczuk-Rudczyk E. 2021. *Wody uznawane za święte na Nizinie Północnopodlaskiej w świetle analizy hydrochemicznej*. Wyd. Uniwersytetu w Białymstoku.
- Jekatierynczuk-Rudczyk E., Zieliński P., Puczek K., Micun K., Puczyłowska E. 2022. The Role of the Catchment Area in Shaping Water Quality in the Lowland Springs of the Knyszyn Forest (NE Poland). *Water* 14: 3202.
- Jędrzejewska E., Porada J., Walczak M., Walczak-Słonecka A. 2011. *Dzieje Nowego Miasta nad Pilicą*. Gmina Nowe Miasto nad Pilicą.
- Jokiel P., Michalczyk Z. 2019. Źródła Polski – zachować dla przyszłości. *Prace Geograficzne* 157: 7-31.
- Józefko I., Nestor O., Kukuła M. 2013. Ocena wodonośności utworów fliszowych w rejonie Muszyny na podstawie badań źródeł. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 456: 233-242.
- Kisiel M., Bochnak D., Jastrzębska B., Mostowik K., Pufelska M., Rzonca B., Siwek J. 2018. Skład chemiczny wód źródłanych w masywie Połoniny Wetlińskiej. *Roczniki Bieszczadzkie* 26: 205-222.

- Kita J. 2016. Zapomniane polskie uzdrowiska. Księży Młyn Dom Wydawniczy.
- Kużawa R., Gutry-Korycka M. 2002. Źródła Skarpy Warszawskiej. *Prace i Studia Geograficzne* 31: 257-278.
- Madzia M., Krywult S. 2017. Wydajność źródeł w zlewni Potoku Bukowego w Beskidzie Śląskim. *Inżynieria Ekologiczna* 18(2): 83-91.
- Maksymiuk Z., Moniewski P. 2000. Hydrologiczna i krajobrazowa rola źródeł małej zlewni w zachodniej części strefy krawędziowej Wyżyny Łódzkiej. *Acta Universitatis Lodziana – Folia Geographica Physica* 5: 67-81.
- Małecka D. 1997a. Zmiany wydajności Niebieskich Źródeł – przyczyny i skutki. *Acta Universitatis Lodziana – Folia Geographica Physica* 2(2): 95-114.
- Małecka D. 1997b. Źródła Masywu Tatrzańskiego. *Acta Universitatis Lodziana – Folia Geographica Physica* 2(2): 9-26.
- Małecki J. 1997. Hydrochemiczna charakterystyka Niebieskich Źródeł. *Acta Universitatis Lodziana – Folia Geographica Physica* 2(2): 115-131.
- Marszałek H. 1989. Hydrogeologia źródeł w zlewni Kamiennej. *Prace Naukowe Instytutu Geotechniki Politechniki Wrocławskiej* 58(29). Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław: 107-114.
- Mazurek M. 2008. Czynniki kształtujące skład chemiczny wypływów wód podziemnych w południowej części dorzecza Parsęty (Pomorze Zachodnie). *Przeгляд Geologiczny* 56(2): 131-139.
- Mazurek M., Kruszyk R., Szpikowska G. 2014. Transformacja składu chemicznego wód podziemnych w niszach źródłiskowych na obszarach młodoglacjalnych (Dorzecze Parsęty). *Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN* 20(2): 355-369.
- Michalczyk Z. 1997. Źródła Wyżyny Lubelskiej i Roztocza. *Acta Universitatis Lodziana – Folia Geographica* 2(2): 73-93.
- Michalczyk Z. (red.). 2001. Źródła Wyżyny Lubelskiej i Roztocza. Wyd. Uniwersytetu Marii Curie Skłodowskiej, Lublin.
- Michalczyk Z. 2007. Źródła w badaniach geograficznych. W: P. Jokiel, P. Moniewski, M. Ziułkiewicz (red.) *Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne*. Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź: 39-47.
- Michalczyk Z., Chmiel S., Głowacki S., Zielińska B. 2015. Monitoringowe badania źródeł Wyżyny Lubelskiej i Roztocza. *Przeгляд Geologiczny* 63(10/2): 935-939.
- Michalczyk Z., Chmiel S., Głowacki S., Sposób J., Zielińska B. 2019. Zmiany wydajności i cech fizyczno-chemicznych wody źródła w Pliszczynnie koło Lublina. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 476: 87-94.
- Michalczyk Z., Chmiel S., Głowacki S., Sposób J., Zielińska B. 2020. Discharge of the spring of the Lublin Upland and Roztocze. *Ecology & Hydrobiology* 20: 599-609.
- Moniewski P. 2004. Źródła okolic Łodzi. *Acta Geographica Lodziana* 87.
- Moniewski P. 2007. Podstawowe pojęcia, typologie i klasyfikacje współczesnej krenologii. W: P. Jokiel, P. Moniewski, M. Ziułkiewicz (red.) *Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne*. Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź: 12-25.
- Nowicki Z., Sadurski A. 2010. Hydrogeological aspects of Quaternary sediments in Poland. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 441: 123-129.
- Pazdro Z., Kozerski B. 1990. *Hydrogeologia Ogólna*. Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- Pich J., Płochniewski Z. 1968. Chemizm wód ze źródeł występujących na obszarze Warszawy. *Przeгляд Geologiczny* 16(11): 511.
- Pietrzak S. 2012. Azotany w wodach gruntowych na terenach zajmowanych przez użytki zielone w Polsce. *Polish Journal of Agronomy* 11: 34-40.
- Rederowa E. 1971. Występowanie źródeł na Wyżynie Lubelskiej i w obszarach przyległych. *Przeгляд Geograficzny* 43(3): 355-360.
- Richling A., Solon J., Macias A., Balon J., Borzyszkowski J., Kistowski M. 2021. *Regionalna geografia fizyczna Polski: praca zbiorowa*. Bogucki Wyd. Naukowe, Poznań.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Dz.U. 2017, poz. 2294.
- Satora S., Bugajski P., Satora P. 2010. Zmienność reżimu wybranych źródeł występujących w obrębie Beskidu Wyspowego i Gorców. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 14: 195-206.
- 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.
- Siwek J. 2004. Źródła w zlewniach Prądnika, Dłubni i Szreniawy: naturalne i antropogeniczne.

- czne uwarunkowania jakości wód. Wyd. IGiPZ Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.
- Siwek J. 2012. Zawartość azotanów (V) w wodach źródeł na Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej. W: W. Marszelewski (red.) *Gospodarowanie wodą w warunkach zmieniającego się środowiska*. Monografie Komisji Hydrologicznej Polskiego Towarzystwa Geograficznego. Komisja Hydrologiczna PTG, Toruń: 147-157.
- Siwek J., Baścik M. (red.). 2013. Przyrodnicze i antropogeniczne przemiany źródeł Wyżyn Krakowsko-Wieluńskiej i Miechowskiej oraz ich rola w krajobrazie naturalnym i kulturowym. Wyd. IGiPZ Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków: 1-317.
- Skompski S., Makowska A., Jakubicz B. 2013. Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1 : 50 000, arkusz Nowe Miasto nad Pilicą. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Smolarek W., Kopec M., Rzętała M. 2005. Jakościowa charakterystyka wód wybranych źródeł w północno-wschodniej części Wyżyny Śląskiej. *Przegląd Geologiczny* 53(11): 1075-1076.
- Szczucińska A. 2016. Spring water chemistry in a formerly glaciated area of western Poland: the contribution of natural and anthropogenic factors. *Environmental Earth Sciences* 75: 712.
- Trepińska J., Ustrnul Z., Kowanetz L. 1997. Variability of the air temperature in Central Europe in the years 1792–1995. *Geographia Polonica* 70: 43-52.
- Wojtyna H., Kwecko P., Bojakowska I., Tomassi-Morawiec H., Hrybowicz G. 2010. Objasnienia do mapy geośrodowiskowej Polski, arkusz Nowe Miasto nad Pilicą. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Wójcik M., Traczyk A. 2017. Changes in the spatial organisation of fruit growing at the beginning of the 21st century: The case of Grójec powiat (Mazovia voivodeship, Poland). *Quaestiones Geographicae* 36(2): 71-84.
- Żelazny M. 2012. Czasowo-przestrzenna zmienność cech fizykochemicznych wód Tatrzańskiego Parku Narodowego. Wyd. IGiPZ Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.

Summary

Springs are considered specific objects in the environment due to their unique location in relation to the topography and their great diversity in terms of discharge values and physico-chemical properties, as well as the heterogeneous functions they perform (such as economic, remedial, cultural and religious). However, in the post-glacial, lowland areas of Poland, where small river valleys springs dominate, they have been insufficiently identified and investigated. Thus, the aim of the study was to characterise the hydrological and hydrochemical properties of spring waters in the vicinity of Nowe Miasto nad Pilicą, where a famous spa resort was founded at the end of 19th century and functioned successfully until 1914. The monitoring covered nine springs located along the escarpment from Łęgonice to Wola Pobiedziska that mainly drain a Quaternary aquifer that overlies post-glacial clays and silts. Discharge, temperature, conductivity, pH and nitrate concentrations were measured directly in the field once a month, from November 2022 to October 2023. Chemical composition was determined by ion chromatography in water samples from February and August. Additionally, the concentrations of trace elements that act as indicators of human impact were measured in August using inductively coupled plasma mass spectrometry. The results indicated that the discharge

of the springs placed them in classes VI and VII according to the Meinzer classification and was relatively stable over time; this confirmed the large volume of the aquifer horizon drained by the springs. Mineral content of their waters ranged from 381 to 882 mg/L, with the dominant hydrochemical type being $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ and $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$, which is typical for similar Quaternary outflows. Significant differences in the physical characteristics and chemical composition of spring waters were demonstrated (visible in the concentrations of sulphates, chloride, sodium and potassium ions, as well as water temperature and pH), which resulted from the impact of anthropogenic factors such as local pollution spots. In the springs located closer to urban areas, higher concentrations of trace elements such as nickel, zinc, arsenic and molybdenum were noted. Finally, it was found that most of the investigated spring water samples were heavily contaminated with nitrates, concentrations of which regularly exceeded 50 mg/l; this was a reflection of the intensive agricultural activity across the Rawska Upland, which is covered mainly with cereal crops and fruit tree orchards. Such investigations of natural groundwater outflows in lowland areas, in addition to their undoubted scientific value, could help restore the memory of the springs to the local community and draw attention to the need for their protection and proper treatment.