

WYPŁYWY WÓD PODZIEMNYCH W ZLEWNI GÓRNEJ DRZEWICZKI

Springs in the upper Drzewiczka catchment

PRZEMYSŁAW TOMALSKI¹ , RADOSŁAW BADOWSKI

Zarys treści. Celem pracy było rozpoznanie wypływów wód podziemnych w zlewni górnej Drzewiczki. Przeprowadzono je za pomocą szczegółowego kartowania krenologicznego. Zmierzona została wydajność oraz podstawowe właściwości fizyczne wody w wypływach (przewodnictwo elektrolityczne właściwe, temperatura). Określono również rodzaj wypływu, położenie morfologiczne, typ hydrogeologiczny, sposób wypływu oraz rodzaj wodonośca. W zlewni górnej Drzewiczki zidentyfikowano 74 wypływy, z czego 15% miało charakter ascensyjny. Następnie wytypowano pięć źródeł, które były obserwowane co 2 tygodnie przez 1 rok. Wydajność obserwowanych źródeł osiągała bezwzględne maksimum na przełomie grudnia i stycznia, wtórne zaś w kwietniu. Minima wydajności przypadały na styczeń i październik.

Słowa kluczowe: wydajność źródła, parametry fizyczne wody źródlanej, zmienność sezonowa

Abstract. The aim of the study was to identify springs in the upper Drzewiczka catchment. It was carried out using detailed crenological mapping. Each one's efficiency and basic physical properties of water (conductivity, temperature) were measured. The type of springs, morphological location, hydrogeological type, method of outflow and type of aquifer were also determined. In the upper Drzewiczka catchment, 74 springs were identified. Fifteen percent of the outflows are ascending. Five springs were selected from this group and were then observed every two weeks for a year. Discharge of the observed springs reaches its maximum at the transition of December to January. There is also a secondary maximum in April. The minimums occur in January and October.

Key words: spring discharge, physical parameters of spring waters, seasonal variability

Wstęp

Badania krenologiczne w Polsce koncentrują się głównie na obszarach górskich i wyżynnych (Pazdro 1983; Dynowska 1991; Chełmicki i in. 2011; Moniewski, Siwek 2017). W pozostałej części kraju poznane i opisane są tylko największe obiekty, jak chociażby „Niebieskie źródła” w Tomaszowie Mazowieckim (Małecka 1997) czy źródło „Sofipol” w Puszczy Knyszyńskiej (Łoszewski 2000). Jedynie w eksperymentalnych zlewniach badawczych kartowane są szczegółowo

wszystkie wypływy wód podziemnych (na przykład Jokiel 2002). Dopiero pod koniec XX wieku rozpoczęto kompleksowe badania terenowe pozwalające uzupełnić wiedzę o wypływach wód podziemnych w niżowej części Polski (Jekatierynczuk-Rudczyk 1999, 2003; Moniewski 2004; Fac-Beneda, Jereczek 2009; Szczucińska 2009). O niedostatecznym stopniu rozpoznania krenologicznego świadczy niewielka liczba źródeł zaznaczonych na arkuszach Mapy Hydrograficznej i Hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000, a niekiedy nawet ich błędna lokalizacja. Nie inaczej jest w przypadku zlewni górnej Drzewiczki.

¹ Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, Instytut Klimatologii i Hydrologii, Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej; ul. Narutowicza 88, 90-139 Łódź; e-mail: przemyslaw.tomalski@geo.uni.lodz.pl, ORCID: 0000-0002-1223-5021

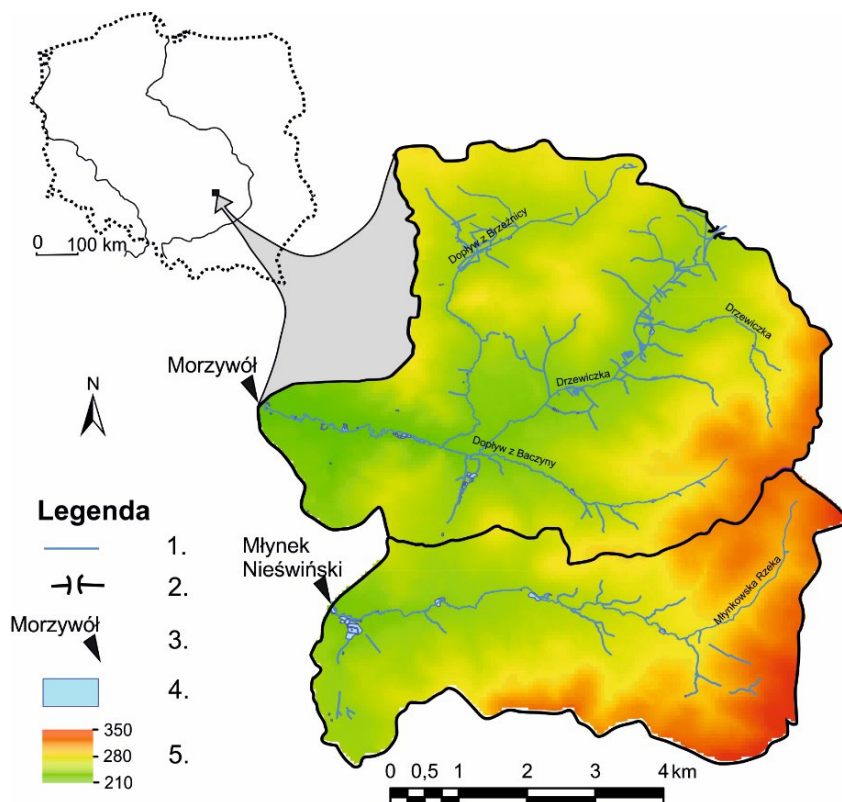
Mimo, iż znajduje się ona na Wyżynie Małopolskiej (a więc na obszarze, który winien być dobrze rozpoznany krenologicznie), to z pięciu źródeł objętych przez Autorów stałym monitoringiem na mapie hydrograficznej zaznaczone jest tylko jedno (*Mapa Hydrograficzna Polski 1:50 000*). Słabe rozpoznanie krenologiczne tego obszaru związane jest zapewne z dużym oddaleniem od geograficznych ośrodków naukowych w Warszawie, Łodzi czy Kielcach. Dla regionu łódzkiego teren ten powinien być szczególnie istotny (pomimo położenia poza granicami administracyjnymi województwa), gdyż w bliskim jego sąsiedztwie znajdują się obszary źródłowe Drzewiczki i Czarnej Malenieckiej, a więc rzek ważnych dla kształtowania bilansu wodnego dorzecza Pilicy.

Zatem w związku ze słabym rozpoznanie krenologicznym zlewni Drzewiczki celem pracy jest inwentaryzacja wypływów wód podziemnych znajdujących się na tym obszarze oraz identyfikacja ich podstawowych cech hydrogeologicznych. Ponadto objęcie kilku źródeł rocznym cyklem monitoringu pozwoli określić zmienność ich wydaj-

ności oraz parametrów fizycznych. Ponad ćwierć wieku temu (w roku hydrologicznym 1998) zidentyfikowano w podobny sposób wypływy wód podziemnych w sąsiedniej zlewni górnej Radomki (Kuc 1999; Afelt 2002). W efekcie kolejnym celem pracy jest analiza porównawcza stopnia uźródłowienia i charakteru występowania wypływów w tych zlewniach.

Obszar badań

Badania terenowe prowadzono w zlewni górnej Drzewiczki zamkniętej przekrojem kontrolnym w Morzywole (65 km od ujścia do Pilicy) oraz w zlewni jej lewego dopływu – Młynkowskiej Rzeki po przekrój kontrolny w Młynku Nieświńskim (rys. 1). Sumaryczna powierzchnia obu zlewni elementarnych wynosi około 105 km². Ze względów praktycznych zdecydowano się wydzielić zlewnię górnej Drzewiczki jako dwie zlewnie elementarne, ponieważ w zlewni różnicowej do połączenia obu cieków liczba wypływów wód



Rys. 1 Lokalizacja i hipsometria zlewni górnej Drzewiczki
1 – ciek, 2 – dział wodny i brama w działle wodnym, 3 – przekroje pomiarowe koryta, 4 – sztuczne zbiorniki,
5 – wysokość bezwzględna [m n.p.m.]

Location of upper Drzewiczka catchment and its topography
1 – rivers, 2 – watershed and a gate in the watershed, 3 – gauging cross-section, 4 – artificial ponds,
5 – absolute height [m a.s.l.]

podziemnych jest już nieznaczna. Zdefiniowany obszar badań położony jest na pograniczu województw mazowieckiego i świętokrzyskiego w obrębie Garbu Gielniowskiego i Wzgórz Opoczyńskich należących do makroregionu Wyżyny Małopolskiej (Kondracki 1998).

Zlewnia górnej Drzewiczki znajduje się w obrębie hydrogeologicznego regionu wokół świętokrzyskiego i podregionu konecko-ostrowieckiego (Kolago 1984). Podregion ten charakteryzuje się głównym poziomem użytkowym w utworach jurajskich oraz lokalnie poziomami użytkowymi w utworach czwartorzędu (piaskach i żwirach). Dla krążenia wód podziemnych szczególnie istotne są tu dolnojurajskie piaskowce serii zarzeckiej (zwanej także rudonośną z przewarstwieniami iłów i łupków) oraz ostrowieckiej (z przewarstwieniami iłowców i mułowców; Karaszewski 1962). Pod względem geologicznym analizowany obszar można podzielić na dwie części. Część wschodnia charakteryzuje się przewagą utworów dolnojurajskich, występujących na powierzchni (około 30% zlewni). Część zachodnia, wyraźnie niżej położona, pokryta jest prawie w całości przez utwory czwartorzędu, jednak o nieznacznej miąższości. Tutaj też zaznacza się biegnąca południkowo linia utworów moreny czołowej (Cieśla, Lindner 1987; Cieśla i in. 1996). Duże różnicowanie hipsometryczne (od 210 m n.p.m. do 350 m n.p.m.) powoduje wysokie spadki rzek, szczególnie w ich górnych odcinkach. Spadek Drzewiczki na odcinku pierwszych trzech kilometrów wynosi prawie 17 ‰, a Młynkowskiej Rzeki 10 ‰. Zatem ich źródłowe odcinki mają charakter rzek górskich. Łączna długość cieków wynosi w tych zlewniach ponad 110 km, co przekłada się na wskaźnik gęstości sieci rzecznej według Neumanna na poziomie $1,05 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$.

Słabej jakości gleby są czynnikiem determinującym rodzaj użytkowania terenu. Dominują tutaj bielice i gleby bielicowe niecałkowicie na piaskowcach – są to odpowiednie gleby pod zalesienie, nie nadają się jednak pod uprawę rolniczą (Woch 2015). W wyniku tego całkowita powierzchnia zalesiona obejmuje około 92 km^2 , co stanowi blisko 90% całej zlewni. Większość terenu pokrywają lasy mieszane – w kompleksach położonych niżej dominują sosny, a w wyższych partiach zlewni, na piaskowcach, występują również lasy jodłowe. Tereny użytkowane rolniczo stanowią tylko 3%. Pozostała część zlewni zalicza się do obszarów zamieszkałych. Obie formy użytkowania koncentrują się w zachodniej najniższej położonej części zlewni. Wpływ człowieka na środowisko geograficzne jest na tym obszarze nie-

znaczny. Nie ma tu składowisk odpadów czy oczyszczalni ścieków. Uprawa roli koncentruje się w dolnej części zlewni, w obszarze, gdzie zlokalizowany jest również jedyny niewielki zakład przemysłowy produkujący chemię budowlaną (we wsi Nieświń).

Material i metody badań

Szczegółowe kartowanie krenologiczne zlewni górnej Drzewiczki wykonano w czerwcu i lipcu 2017 roku. Badania terenowe polegały na odnalezieniu wszystkich istniejących wypływów, zarówno skoncentrowanych, jak i nieskoncentrowanych. Współrzędne każdego z nich zostały określone za pomocą odbiornika GPS Garmin etrex 20x. Wydajność była mierzona metodą wolumetryczną lub młynkiem hydrometrycznym HEGA-1. Przy pomocy urządzenia wielofunkcyjnego Elmetron CX-401 zostały określone podstawowe właściwości fizyczne wód (temperatura i przewodność elektrolityczna właściwa). Ocenione zostały również podstawowe cechy badanych obiektów, takie jak: typ wypływu, położenie morfologiczne, sposób wypływu, typ hydrogeologiczny oraz rodzaj wodonośca.

Lokalizacja wypływów przy pomocy odbiornika GPS pozwoliła na odczytanie wysokości nad poziomem morza każdego z nich przy pomocy numerycznego modelu terenu o rozdzielczości 1 m. Odczyty te umożliwiły sprawdzenie, czy właściwości fizyczne wód poszczególnych obiektów są skorelowane z wysokością wypływów, na której się one znajdują. W tym celu obliczono współczynniki korelacji liniowej Pearsona. Istotność statystyczna korelacji została sprawdzona statystyką testową t-Studenta przy poziomie $\alpha=0,05$ (Tomalski, Tomaszewski 2015). W przypadku gdy korelacja była istotna statystycznie, obliczano równanie regresji liniowej oraz współczynnik determinacji (R^2) będący prostą miarą dopasowania funkcji teoretycznej do danych empirycznych.

W celu identyfikacji sezonowej zmienności cech wypływów wytypowano pięć źródeł, które były obserwowane przez rok z częstotliwością co 2 tygodnie (tab. 1). Obserwacje rozpoczęto 22 stycznia 2017 roku, a zakończono 21 stycznia 2018 roku. Pomiary obejmowały podstawowe parametry fizyczne wody: temperaturę, przewodnictwo elektrolityczne właściwe i odczyn. Ponadto mierzono wydajność każdego z tych obiektów.

Okres badawczy charakteryzował się średnią temperaturą powietrza wynoszącą $9,0^\circ\text{C}$ (dane ze stacji meteorologicznej Instytutu Meteorologii

Tabela 1

Podstawowe informacje o źródłach obserwowanych w rocznej serii pomiarowej

Basic information about the springs observed in the annual measurement series

Nr (zgodny z Rysunkiem 2)/ <i>No</i> (according to Figure 2)	1	2	3	4	5
Nazwa/ <i>Name</i>	Kolonia Szczerbacka północ	Kolonia Szczerbacka południe	Stoki	Piasek 1	Piasek 2
Wysokość [m. n.p.m.]/ <i>Height</i> [m a.s.l.]	298	290	257	273	269
Warstwa wodonośna/ <i>Aquifer</i>	Piaskowce z wkładkami iłowców i mułowców – – seria ostrowiecka	Piaskowce z wkładkami iłowców i mułowców – – seria ostro- wiecka + pia- ski i namuły den dolinnych	Piaskowce z wkładkami iłowców i mułowców – – seria ostrowiecka	Piaski i żwiry rzeczne na utworach jury dolnej	Piaski i żwiry rzeczne na utworach jury dolnej
Położenie morfologiczne/ <i>Morphologic location</i>	stokowe	stokowe	stokowe	podstokowe	przykorytowe
Typ hydrogeologiczny/ <i>Hydrogeological type</i>	szczelinowe	warstwowo- -szczelinowe	szczelinowe	warstwowe	warstwowo- -szczelinowe
Sposób wypływu/ <i>Type of outflow</i>	ascenzyjny	ascenzyjny	ascenzyjny	descenzyjny	ascenzyjny
Q_{sr} [$Q_{min}-Q_{max}$] [dm ³ ·s ⁻¹]	7,49 (1,93–19,71)	1,52 (0–3,93)	14,16 (10,85–17,67)	0,69 (0,27–1,30)	0,34 (0,31–0,40)
Współczynnik zmienno- ści Maillet'a/ <i>Maillet coefficient</i>	10,2 (źródło zmienne)	-* (źródło okresowe)	1,6 (źródło stałe)	4,8 (źródło mało zmienne)	1,3 (źródło stałe)

Q_{sr} – średnia wydajność, Q_{min} – minimalna wydajność, Q_{max} – maksymalna wydajność, * - źródło okresowe, w związku z tym nie można obliczyć współczynnika zmienności Maillet'a

Q_{sr} – average discharge, Q_{min} – minimum discharge, Q_{max} – maximum discharge, * - periodic spring, therefore the Maillet coefficient cannot be calculated

i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego w Sulejowie). Wartość ta jest wyższa niż średnia z wielolecia 1991–2020 wynosząca 8,6°C (Klimat IMGW-PIB 2024). Najwyższe wartości w roku badawczym notowane były pod koniec lipca i na początku sierpnia 2017, najniższe zaś w lutym 2017 roku i styczniu 2018 roku. Dodatnie odchylenie temperatury w stosunku do wartości z wielolecia było szczególnie zauważalne wiosną. W porównaniu z danymi wieloletnimi szczególnie ciepły okazał się marzec, którego średnia temperatura miesięczna wyniosła 5,4°C przy średniej z wielolecia wynoszącej 2,9°C.

Na potrzeby opracowania sumy opadów zanotowane na stacji meteorologicznej w Sulejowie zostały skorygowane metodą Chomicza (Bycz-

kowski 1999). Łączna suma tak skorygowanych opadów atmosferycznych badanego okresu wyniosła 680 mm. Wartości najwyższe odnoszą się do okresu późnego lata i jesieni. Największa suma opadu dobowego zarejestrowana została 28 czerwca 2017 roku (34 mm). Liczba dni z opadem w ciągu badanego roku wyniosła 143. Szczególnie suchy był okres od stycznia do czerwca 2017, podczas którego łączna suma opadów wyniosła zaledwie 199 mm. Pokrywa śnieżna w okresie badawczym zalegała na powierzchni przez 59 dni. Na początku 2017 roku przez kilkadziesiąt dni utrzymywała się pokrywa śnieżna w wysokości ponad 10 cm (Klimat IMGW-PIB 2024). W drugiej połowie lutego nastąpiła najbardziej znacząca odwilż podczas okresu badawczego.

Okres prowadzenia kartowania krenologicznego (lipiec 2017) charakteryzował się średnią temperaturą powietrza 18,1°C przy średniej wieloletniej (1991–2020) wynoszącej 19,0°C (Klimat IMGW-PIB 2024). Wysokość opadów była znacznie niższa niż średnia z wielolecia. W lipcu 2017 roku suma opadu skorygowanego wyniosła 47,7 mm, przy średniej z wielolecia – 84,6 mm. Półrocze poprzedzające okres badań terenowych można scharakteryzować jako suche.

Wyniki i dyskusja

Rodzaje wypływów wód podziemnych i ich rozmieszczenie

W zlewni górnej Drzewiczki i Młynkowskiej Rzeki zidentyfikowano 74 wypływy wód podziemnych – w tym jeden antropogeniczny (rys. 2). W latach 70. XX wieku wykonano tu odwiert do wód głębszych, który nie został następnie zaślepiiony i obecnie funkcjonuje jako antropogeniczny wypływ ascenzyjny. Zdecydowaną większość naturalnych wypływów stanowiły źródła (60%), przy czym pięć z nich funkcjonuje okresowo (tab. 2; rys. 3). W 2017 roku nie dawały one odpływu, ale informacje o funkcjonowaniu tych obiektów w okresach wysokiego stanu retencji podziemnej uzyskano podczas wywiadu z mieszkańcami. W badanej zlewni zidentyfikowano trzy wysięki (rys. 3A). Jeden z nich położony był na stoku i porośnięty roślinnością hydrofilną. Występujące na jego powierzchni niewielkie zastoiska wodne charakteryzowały się temperaturą 17,0°C.

Źródła najczęściej występowały na stokach i przy korytach cieków (tab. 2). W tym pierwszym przypadku dominowały źródła szczelinowe (10 z 13) i bardzo wydajne (IV i V klasa Meinzera; rys. 3C). Źródła przykorytowe były mało wydajne

(VII i VIII klasa Meinzera) i drenowały wyłącznie wody z utworów porowych wyścielających dna dolin rzecznych. Niektóre z tych wypływów znajdowały się w położeniu podstokowym – przy zakolach rzecznych. Nieco ponad 20% źródeł podstokowych występowało w pewnym oddaleniu od cieków. Pod względem wydajności stanowiły one bardzo zróżnicowaną grupę. W terenie występowały one nie tylko pojedynczo, ale również w postaci linii źródeł, często towarzyszącej strefie wycieków.

Wycieki w badanej zlewni pojawiały się zdecydowanie rzadziej niż źródła (rys. 3A) i najczęściej występowały w negatywnych formach terenu (tab. 2). Wypływy dolinne zajmowały niekiedy znaczne powierzchnie, przekraczające 1000 m², i niejednokrotnie dawały początek ciekom. Jednak z uwagi na ich rozmiar oraz skomplikowany powierzchniowo-liniowy sposób odpływu nie zawsze było możliwe zmierzenie pełnej wydajności. Zdecydowanie mniejsze były wycieki podstokowe występujące grupami w liniach u podnóżu wyraźnych krawędzi morfologicznych, bardzo często w sąsiedztwie źródeł. Ze względu na porę kartowania terenowego (lipiec) zidentyfikowano na tym obszarze tylko jeden wyciek przykorytowy. W okresie wysokich stanów wód podziemnych liczba takich obiektów jest znacząco większa.

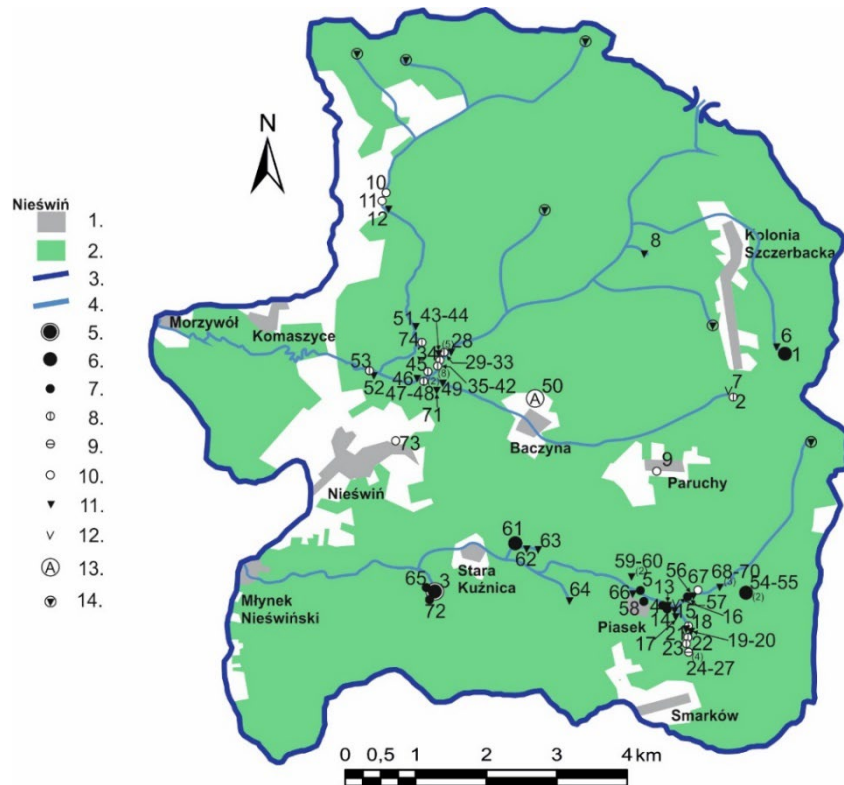
W zlewni górnej Drzewiczki zidentyfikowano 10 źródeł ascenzyjnych i jeden antropogeniczny wypływ pod ciśnieniem hydrostatycznym (rys.3B). Przeważały wśród nich źródła szczelinowe (8) wyprowadzające wodę z piaszczysto-żwirowych osadów aluwialnych, przykrytych mułkami rzecznoimi stanowiącymi warstwę napinącą. Wypływy te znajdowały się przy korycie rzeki i cechowały się niewielką wydajnością nieprzekraczającą 0,1 dm³·s⁻¹.

Tabela 2

Położenie morfologiczne wypływów wód podziemnych w zlewni górnej Drzewiczki

Morphological location of springs in the upper Drzewiczka catchment

Położenie/ <i>Geomorphological location</i>	Źródła/ <i>Springs</i>	Wycieki/ <i>Leakages</i>	Wysięki/ <i>Seepages</i>	Wypływ antropogeniczny/ <i>Artificial outflow</i>
stokowe	16	5	1	1
podstokowe	10	10	-	-
dolinne	3	10	1	-
przykorytowe	15	1	1	-

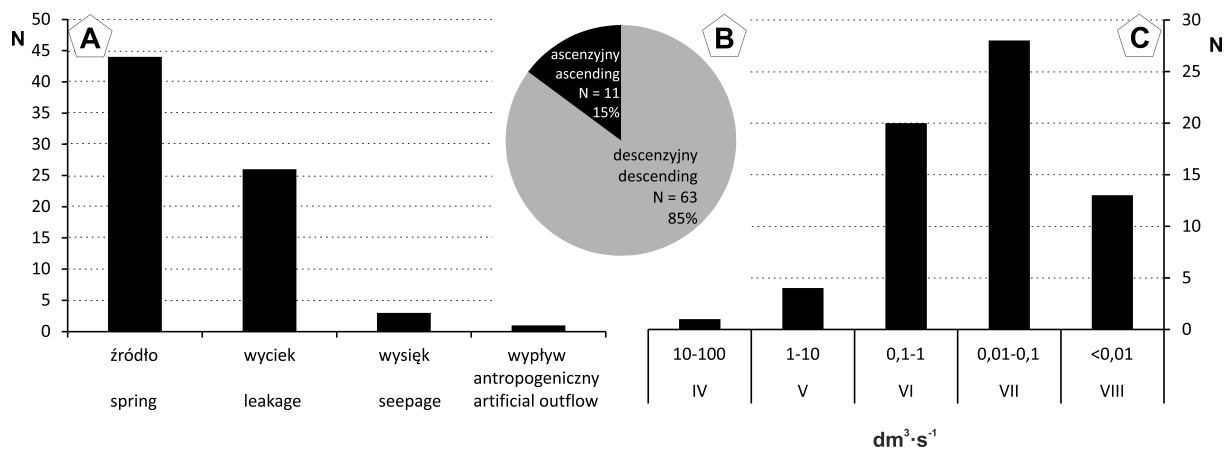


Rys. 2. Wyflęwy wód podziemnych w zlewni górnej Drzewiczki

1 – miejscowości, 2 – lasy, 3 – dział wodny, 4 – ciek, 5 – źródła o wydajności $>10 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
 6 – źródła o wydajności $1-10 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, 7 – źródła o wydajności $0,1-1 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, 8 – źródła o wydajności $0,01-0,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
 9 – źródła o wydajności $<0,01 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, 10 – źródła okresowe, 11 – wycieki, 12 – wysięki, 13 – wyflęwy antropogeniczny,
 14 – wielkopowierzchniowe strefy wyflęwów (niezmierzone);
 cyfra w nawiasie przy sygnaturze wyflęwu informuje o liczbie obiektów w grupie położonych bardzo blisko siebie

Springs in the upper Drzewiczka catchment

1 – villages, 2 – forests, 3 – watershed, 4 – rivers, 5 – springs with discharge $>10 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
 6 – springs with discharge $1-10 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, 7 – springs with discharge $0.1-1 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
 8 – springs with discharge $0.01-0.1 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, 9 – springs with discharge $<0.01 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, 10 – periodic springs, 11 – leakages,
 12 – seepages, 13 – artificial spring, 14 – large-scale outflow zones (unmeasured);
 number in brackets next to the spring signature indicates number of objects in cluster



Rys. 3. Wyflęwy wód podziemnych w zlewni górnej Drzewiczki w świetle wybranych klasyfikacji
 A – typ wyflęwu, B – sposób wyflęwu, C – klasy wydajności według Meinzera, N – liczebność

Springs in the upper Drzewiczka catchment in the light of selected classifications

A – type of outflow, B – way of alimentation, C – runoff class according to Meinzer, N – number of springs

Liczba i wydajność badanych wyflęwów na tle wybranych klasyfikacji
 Number and discharge of the studied outflows against the selected classifications

Typ hydrogeologiczny/ <i>Hydrogeological type</i>	Liczba wyflęwów (sumaryczna wydajność/przeciętna wydajność na jeden wyflęw)/ <i>Number of outflows (total discharge/average discharge per one outflow)</i> [dm ³ ·s ⁻¹]		
	Szczelinowy/ <i>Karstic</i>	Warstwowo- -szczelinowy/ <i>Karstic-porous</i>	Warstwowy/ <i>Porous</i>
Wodonośiec/ <i>Aquifer*</i>			
piaskowce jurajskie – seria ostrowiecka	10 (18,33/1,83)	-	-
piaskowce jurajskie – seria zarzecka	3 (4,49/1,50)	-	-
piaski i mułki rzeczne na utworach jury dolnej	-	2 (1,33/0,66)	-
piaski eoliczne	-	-	3 (1,69/0,56)
piaski humusowe i namuły den dolinnych	-	-	24 (2,27/0,094)
piaski, żwiry i mułki (mady) teras zalewowych	-	-	26 (0,88/0,038)
piaski i żwiry moren czołowych	-	-	3 (0,031/0,01)
piaski i żwiry rzeczne i rzeczno- -peryglacjalne	-	-	3 (1,94/0,64)
RAZEM	13 (22,82/1,76)	2 (1,33/0,66)	59 (6,81/0,11)

*Rodzaj wodonośca określono na podstawie Cieśli i Lindnera (1987) oraz Cieśli i in. (1996)

*Aquifers according to: Cieśla, Lindner 1987 and Cieśla *et al.* 1996

Wskaźnik krenologiczny (uźródłowienia) obliczony dla zlewni górnej Drzewiczki wyniósł 0,71 źr·km⁻² i był nieco niższy od analogicznego wskaźnika obliczonego dla sąsiedniej zlewni górnej Radomki – 0,76 źr·km⁻² (Kuc 1999). Należy przy tym zauważyć, że jest on stosunkowo wysoki w skali szerszego regionu. Dla mezozoicznego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich (do którego należy również badana zlewnia) wskaźnik ten szacowany jest na 0,4 źr·km⁻² (Szpakiewicz 1973). Obliczony wskaźnik mieści się w przedziale zmienności oszacowanym przez Moniewskiego (2004) dla całego regionu świętokrzyskiego: 0,3–0,8 źr·km⁻².

Wydajność wyflęwów

Wydajności wyflęwów wód podziemnych w okresie badawczym w zlewni górnej Drzewiczki wahały się od 0 dm³·s⁻¹ (źródła okresowe) do prawie 14,5 dm³·s⁻¹ (źródło szczelinowe dające początek jednemu z dopływów Młynkowskiej Rzeki) (fot. 1). Wydajnych wyflęwów było jednak w badanej zlewni mało, gdyż jedynie pięć z nich można zaliczyć do klas niższych niż VI według klasyfikacji Meinzera (rys. 3C). Bardzo podobną sytuację zanotowano w sąsiedniej zlewni Radomki, gdzie tylko cztery wyflęwy charakteryzowały się wydajnością przekraczającą 1 dm³·s⁻¹

(Kuc 1999). Najwięcej wyflęwów odwadniało utwory porowe (tab. 3) i charakteryzowało się niewielkimi wydajnościami, przeciętnie niewiele przekraczającymi 0,1 dm³·s⁻¹ (tab. 3). Należy przypuszczać, że zdecydowanie wydajniejsze, choć bardzo rzadko występujące na tym obszarze, były źródła, w których wody ze zbiorników porowych mieszają się z wodami szczelinowymi pochodzącymi z głębszych systemów krążenia. Największymi wydajnościami cechowały się źródła szczelinowe drenujące zbiorniki wód podziemnych w piaskowcach dolnojurajskich. Przeciętna wydajności wyflęwu przekraczała tu 1,5 dm³·s⁻¹.

Przeciętna wydajność wyflęwu wód podziemnych w zlewni górnej Drzewiczki wyniosła 0,47 dm³·s⁻¹. Inaczej niż w przypadku wskaźnika krenologicznego jest ona zdecydowanie niższa niż w sąsiedniej zlewni górnej Radomki (0,74 dm³·s⁻¹; Kuc 1999), ale mieści się w przedziale przeciętnych wydajności źródeł tego regionu szacowanych na 0,3–1,0 dm³·s⁻¹ (Chełmicki i in. 2011). Odpływ jednostkowy generowany przez wyflęwy wód podziemnych na badanym obszarze wynosił 0,29 dm³·s⁻¹·km⁻² i był zdecydowanie niższy niż w zlewni górnej Radomki (0,54 dm³·s⁻¹·km⁻²), a jednocześnie plasował się przy dolnej granicy przedziału zmienności tej charakterystyki dla regionu świętokrzyskiego: 0,3–0,7 dm³·s⁻¹·km⁻² (Czarnecka 1975).



Fot. 1. Najwydajniejsze źródło w zlewni górnej Drzewiczki (wyływ nr 3 na Rysunku 2)
(fot. R. Badowski 2017)

Spring with the highest discharge in Drzewiczka catchment (spring no 3 on Figure 2)

Wyflęwy wód podziemnych w zlewni górnej Drzewiczki w świetle wyżej przytoczonych informacji można uznać za relatywnie częściej występujące niż na pozostałym obszarze mezozoicznego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. Zdecydowana większość wyflęwów była jednak bardzo mało wydajna. W związku z tym udział wód źródłanych w całkowitym odpływie rzeczonym z tego terenu wynosił jedynie 10%. Jest to wielkość zdecydowanie niższa niż na innych obszarach wyżynnych. Na przykład na Wyżynie Lubelskiej osiąga on 26% (Michalczyk 2001), a w północnej strefie krawędziowej Wzniesień Łódzkich dochodzi do 35% (Moniewski 2004). Można zatem stwierdzić, że drenaż punktowy w zlewni górnej Drzewiczki jest słabo rozwinięty, a rola źródeł w zasilaniu cieków – niewielka.

Wyflęwy wód podziemnych na badanym obszarze występują na wysokościach od 227 m n.p.m. do 306 m n.p.m. Podobny przedział odnotowano w sąsiedniej zlewni górnej Radomki (216–318 m n.p.m.; Kuc 1999). Ukształtowanie terenu (rys. 1) sprawia, że zaznaczają się wyraźne różnice między zlewniami dwu analizowanych cieków. Wyflęwy wód podziemnych w zlewni Drzewiczki znajdują się na nieco niższych wysokościach (do 290 m n.p.m.) niż w zlewni Młynkowskiej Rzeki. W tej drugiej zlewni elementarnej minimalna wysokość źródła wynosi ponad 260 m n.p.m. Najwydajniejsze źródła drenowały formacje piaskowców dolnojurańskich. Na badanym obszarze występują one w czterech seriach, przy czym istotne z hydrogeologicznego punktu widzenia są tylko dwie: ostrowiecka (wyflęwy na

wysokościach 251–291 m n.p.m.) oraz zarzecka (wysokości wyflęwów ponad 300 m n.p.m.). W pierwszym przypadku przeciętna wydajność wyflęwu wynosiła ponad $1,8 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (tab. 3) i była wyraźnie wyższa niż w sąsiedniej zlewni górnej Radomki, gdzie oszacowano ją na $1,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Kuc 1999). Również seria zarzecka cechowała się większymi przeciętnymi wydajnościami w zlewni Drzewiczki w stosunku do zlewni Radomki, przy czym różnice były tu jeszcze większe (odpowiednio: $1,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ i $0,4 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Liczba wyflęwów drenujących oba te poziomy w zlewni Radomki była także niemal dwukrotnie większa (25 przy 13 w zlewni Drzewiczki). Jednak sumaryczny wydatek źródeł drenujących omawiane formacje skalne był niemal identyczny w obu zlewniach ($22,82 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w zlewni Drzewiczki i $22,35 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w zlewni Radomki). W zlewni Drzewiczki zdecydowanie intensywniej drenowane były zbiorniki czwartorzędowe. Sumaryczna wydajność wyniosła tu niemal $7 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (tab. 3), podczas gdy w zlewni Radomki osiągnęła niecałe $3 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Kuc 1999).

Temperatura wód

Temperatura wód wyflęwających z badanych obiektów – podobnie jak wydajność – zależała od rodzaju wyflęwu. Źródła odwadniające najczęściej głębsze zbiorniki wód podziemnych niż wycieki drenują wodę chłodniejszą (tab. 4). Woda wyflęwająca z wycieków i wysięków była wyraźnie cieplejsza. Świadczy to o płytkim krążeniu

Tabela 4

Podstawowe cechy fizyczne wód względem typu wypływu
Basic physical characteristics of springs water against the type of outflow

	Źródła/ <i>Springs</i>	Wycieki/ <i>Leakages</i>	Wysięki/ <i>Seekages</i>	Wpływ antropogeniczny/ <i>Artificial outflow</i>
Średnia wydajność/ <i>Average discharge</i> (min – max) [dm ³ ·s ⁻¹]	0,63 (0,006 – 14,48)	0,11 (0,008 – 0,87)	-	0,24
Średnia temperatura/ <i>Average temperature</i> (min – max) [°C]	9,9 (7,9 – 12,8)	13,4 (9,8 – 17,2)	15,3 (13,5 – 17)	8,9
Średnia przewodność elektrolityczna właściwa/ <i>Average specific electrical conductivity</i> (min – max) [μS·s ⁻¹]	71,6 (32,3 – 258)	66,6 (30,2 – 135,1)	50,4 (36,6 – 64,1)	55,2

Tabela 5

Podstawowe cechy fizyczne wód wypływów w zależności od rodzaju wodonosia
Basic physical characteristics of spring waters depending on the type of aquifer

Wodonośiec/ <i>Aquifer</i>	Średnia wydajność/ <i>Average discharge</i> [dm ³ ·s ⁻¹]	Średnia temperatura/ <i>Average temperature</i> [°C]	Średnia przewodność elektrolityczna właściwa (SEC)/ <i>Average Specific electrical conductivity (SEC)</i> [μS·cm ⁻¹]
Piaskowce jurajskie	1,88	10,7	102,4
Piaski rzeczne na utworach jury	0,35	10,3	59,1
Piaski rzeczne	0,095	11,4	62,3
Piaski polodowcowe	0,01	12,2	74,7
Piaski eoliczne	0,56	12,2	52,4

wód podziemnych przed wypływem i/lub o stagnacji wody w miejscu odpływu, co skutkuje jej intensywniejszym ogrzewaniem. Czynnikiem potęgującym to zjawisko jest fakt, iż badania przeprowadzane były w czerwcu i lipcu, a co za tym idzie temperatura powietrza i powierzchni gruntu była wysoka. Podobne wyniki uzyskano w lipcu 2005 roku w niszy źródłiskowej Rosanów I, położonej w północnej części Wzniesień Łódzkich, gdzie najniższe wartości temperatury wód noto-

wane były w źródłach, a najwyższe w wypływach nieskoncentrowanych (Moniewski, Stolarska 2007).

Najwyższymi wartościami temperatury wody cechowały się obiekty drenujące przypowierzchniowe warstwy wodonosne (tab. 5). Relatywnie najwyższa temperatura wody została zarejestrowana w wypływach drenujących piaski eoliczne i polodowcowe. Najniższa temperatura cechowała wody wypływające z piaskowców jurajskich oraz

piasków rzecznych zalegających bezpośrednio na utworach jurajskich.

Przewodnictwo elektrolityczne właściwe wód

Średnia przewodność elektrolityczna właściwa wód źródłanych na badanym obszarze wyniosła $68,9 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Wartość ta jest niska w porównaniu ze średnimi wartościami notowanymi w wypływach innych obszarów Polski (Bartnik 2007; Jankatierynczuk-Rudczyk 2007; Matysik 2007; Stolarska 2008; Siepak i in. 2023). O niskiej wartości przewodności elektrolitycznej właściwej wód wypływów w badanej zlewni decyduje przede wszystkim niewielka antropopresja oraz właściwości geochemiczne skał. Najmniejsze wartości notowane były w wodach wycieków, najwyższe zaś w wodach źródeł. Najwyższe wartości przewodności elektrolitycznej właściwej charakteryzowały wody wypływające z piaskowców jurajskich (tab. 5). Wysoka wartość średnia tego parametru jest efektem dwóch wypływów, których wody charakteryzowały się wartościami konduktywności na poziomie odpowiednio $230 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ i $250 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Oba te obiekty podczas kartowania terenowego na początku lipca 2017 roku nie dawały odpływu. Stagnująca w miejscu wypływu woda mogła więc nasycić się jonami. Jeśli pominąć te dwie skrajnie wysokie wartości, to wynik średniej przewodności wód dla piaskowców jurajskich wynosił $76,7 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Stwierdzić można zatem, że wartości konduktywności wód wypływów nie zmieniają się znacząco w zależności od rodzaju wodonośca, który drenują.

Związki parametrów wód wypływów z wysokością ich występowania

Wyniki badania współzmienności ilościowych parametrów fizycznych wypływów wód podziemnych i ich wysokości nad poziomem morza przedstawia Tabela 6.

Procedura testowa wykazała, że ilość wody wypływającej z poszczególnych obiektów jest zależna od wysokości, na których one występują. Współczynnik korelacji wynosi 0,38 co skutkuje współczynnikiem determinacji równym 0,15. Można zatem stwierdzić, że istnieje słaba zależność, która wskazuje, że wartość wydajności poszczególnych wypływów wzrasta wraz z wysokością nad poziomem morza. Temperatura wód

źródłanych w badanej zlewni nie jest zależna od wysokości nad poziomem morza (tab. 6). Nie obserwuje się tutaj często spotykanej zależności polegającej na spadku wartości temperatur wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza ze względu na niewielką różnicę wysokości między najwyższą i najniższą położonym źródłem (80 metrów).

Przewodnictwo elektrolityczne właściwe maleje wraz ze wzrostem wysokości bezwzględnej (tab. 6). Niższe wartości przewodności elektrolitycznej właściwej na większych wysokościach świadczyć mogą o krótkich drogach krążenia podziemnego wód w wypływach położonych wysoko. W badaniach w zlewni Ożarskiego Potoku i Mąkolnicy również potwierdzono tę zależność (Stępień 2007).

Sezonowa zmienność wybranych charakterystyk

Na Rysunku 4 zaprezentowano wydajności źródeł na tle sumy wysokości opadu skorygowanego z 14 dni poprzedzających dzień pomiaru wydajności. Do korekcji opadu zastosowano poprawki zaproponowane przez Chomicza.

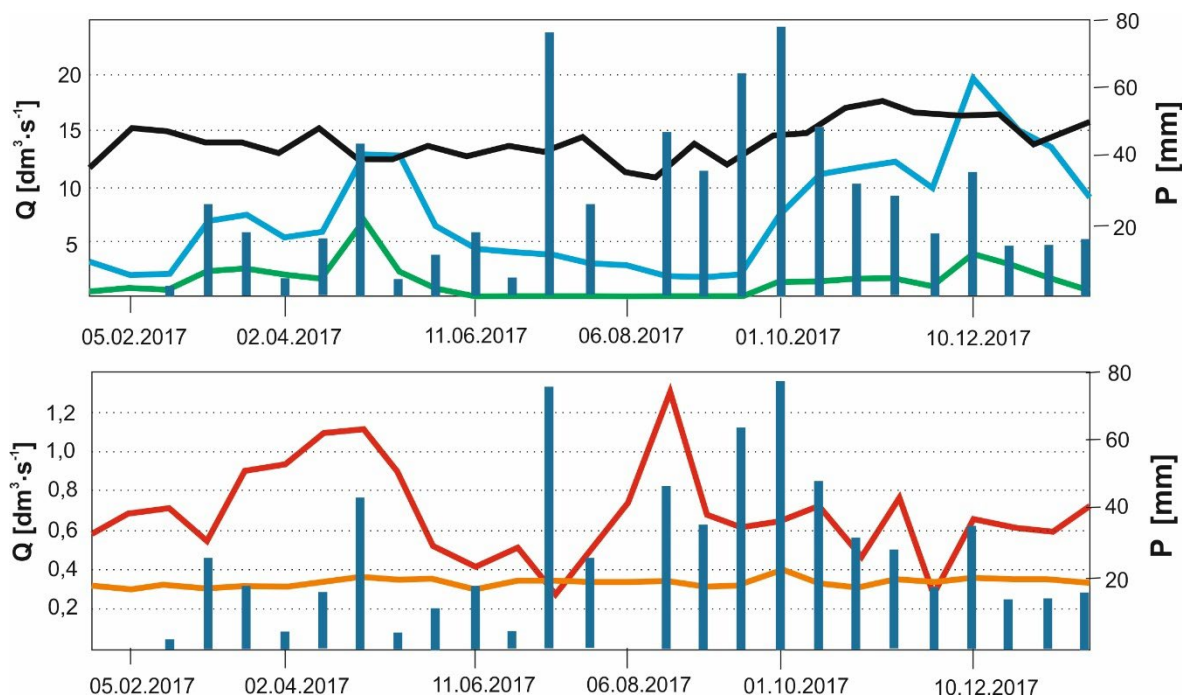
Źródła w zlewni górnej Drzewiczki charakteryzowały się dwoma okresami wysokiej wydajności. Pierwszy wystąpił w grudniu i styczniu, a drugi przypadł na miesiące wiosenno-letnie (od marca do czerwca). Jedyne w przypadku źródła Piasek 1 okres zimowych wysokich wydajności nie występował, a zastąpiło je letnie maksimum. Okresy niskich wydajności występowały od stycznia do lutego oraz od lipca do października (ponownie z wyłączeniem źródła Piasek 1). Wysokie wartości przepływu związane z reakcją na zasilanie letnimi opadami deszczu były w większości przypadków (czterech z pięciu) wyższe niż te związane z wiosennymi czy śródzimowymi roztopami. Jedyne w przypadku źródła Kolonia Szczerbacka południe maksimum roztopowe było wyższe od opadowego. Jest to jednocześnie jedyne okresowe źródło wśród badanych obiektów (od 21 sierpnia do 30 sierpnia w miejscu wypływu nie było wody). Zarejestrowane prawidłowości zmienności wydajności źródeł w zlewni górnej Drzewiczki były zbieżne z tymi, które zaobserwowano w zlewni górnej Radomki (Kuc 1999; Afelt 2002). Powtarzały się zarówno okresy występowania wydajności ekstremalnych, jak i genetyczne relacje między nimi.

Tabela 6

Współczynniki kierunkowe regresji liniowej (a) i wartość współczynnika determinacji (R^2) istotnych statystycznie ($\alpha \leq 0,05$) związków badanych parametrów wód źródlanych z wysokością nad poziomem morza

Regression slope coefficients (a) and the value of the coefficient of determination (R^2) of statistically significant ($\alpha \leq 0,05$) relationships between the studied spring parameters and the elevation above sea level

	Q	t	SEC
a	0,007	-	-0,509
R^2	0,15	-	0,32



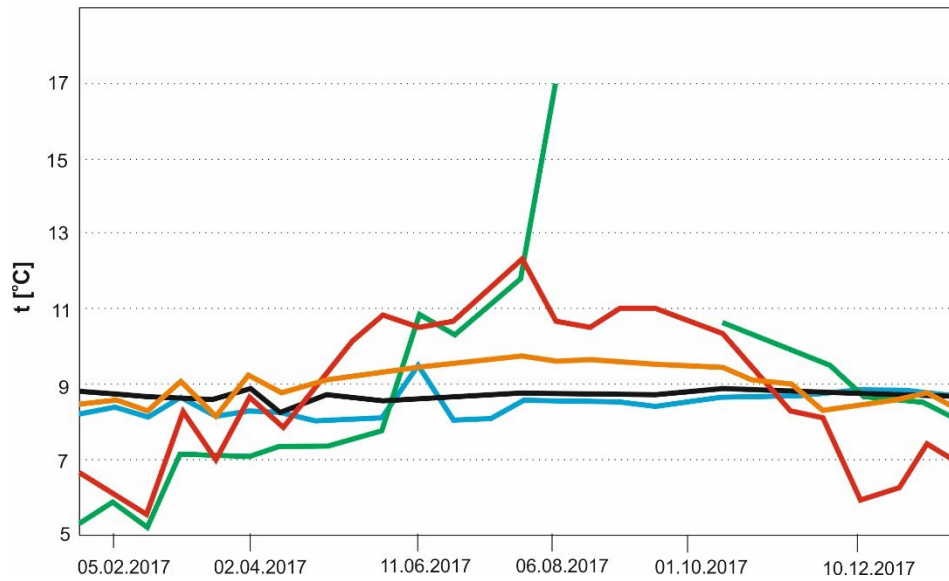
Rys. 4. Zmiany wydajności wypływów (Q) na tle 14-dniowych sum opadów (P)
 słupki – 14 dniowe sumy opadów, linie – wydajność źródeł: czarna – Stoki, niebieska – Kolonia Szczerbacka północ,
 zielona – Kolonia Szczerbacka południe, czerwona – Piasek 1, pomarańczowa – Piasek 2

Discharge changes of examined springs (Q) on the background of 14-days sums of precipitation (P)
 bar – 14-days sums of precipitation, lines – yield springs: black – Stoki, blue – Kolonia Szczerbacka północ,
 green – Kolonia Szczerbacka południe, red – Piasek 1, orange – Piasek 2

Średnia temperatura wód wszystkich obserwowanych źródeł była bardzo zbliżona do średniej rocznej temperatury powietrza (rys. 5). Termika wód w poszczególnych obiektach różniła się rozkładem jej wartości w ciągu roku.

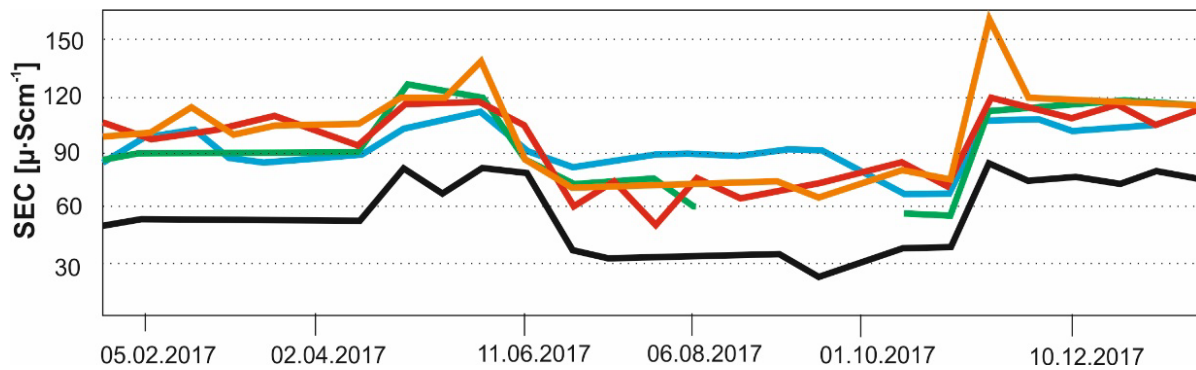
Do źródeł o największej amplitudzie temperatury wody należały: Kolonia Szczerbacka południe i Piasek 1. W obu przypadkach zaznaczała się wyraźna różnica w przebiegu wartości temperatury wody w ciągu roku w porównaniu z pozostałymi wypływami. Źródła o zmiennej termice jednoznacznie nawiązywały do zmian temperatury powietrza w ciągu roku. Obserwowane było tutaj maksimum w połowie lipca oraz minimum w po-

łowie lutego. Wyraźny wzrost temperatury wód źródła w Kolonii Szczerbackiej południe w dniu 6 sierpnia spowodowany był bardzo małą jego wydajnością. Niewielka ilość wody w misie źródłiskowej mogła się wtedy łatwo nagrzewać. Zmienność termiki wód źródlanych nawiązująca do zmian temperatury powietrza wskazuje na zasilanie z płytkich zbiorników wód podziemnych. Do źródeł o małej amplitudzie temperatury wody w ciągu roku należy źródło w Kolonii Szczerbackiej północ, Stoki i Piasek 2. Zdecydowanie najstabilniejszą temperaturą wody cechowało się źródło Stoki (roczna amplituda temperatury wyniosła jedynie 0,2°C). Można stąd wnosić, że źródło Sto-



Rys. 5. Zmienność temperatury wody (t) w badanych źródłach
Kolory linii zgodnie z Rysunkiem 4

Water temperature variability (t) in examined springs.
Line colour according to Figure 4



Rys. 6. Zmienność przewodnictwa elektrolitycznego właściwego (SEC) w wodach badanych źródeł.
Kolory linii zgodnie z Rysunkiem 4

Variability of specific electrical conductivity (SEC) in water of examined springs.
Line colour according to Figure 4

ki jest obiektem drenującym głębokie zbiorniki wód podziemnych, gdzie wahania temperatury są nieznaczne.

Od początku obserwacji (styczeń 2017 roku) do połowy kwietnia wartość przewodnictwa elektrolitycznego właściwego wody (SEC) była praktycznie stała (rys. 6). W okresie wiosennym we wszystkich obserwowanych obiektach zanotowano stopniowy wzrost wartości, który trwał do końca maja 2017 roku. Potem nastąpił wyraźny spadek konduktywności wody. Od 26 czerwca 2017 wartości stabilizowały się aż do 12 listopada 2017. W drugiej dekadzie listopada w wodach

wszystkich badanych źródeł zanotowano wzrost przewodności elektrolitycznej właściwej. Wartości te wzrosły średnio o 92% w stosunku do pomiaru przeprowadzonego dwa tygodnie wcześniej. Po tym dniu konduktywność wód znów się ustabilizowała aż do końca badanego okresu. Warto zauważyć, iż zmiany przewodnictwa elektrolitycznego właściwego wody były istotnie skorelowane z wydajnością źródeł. Ponadto zauważalna była zależność polegająca na opóźnionej reakcji zmian SEC w stosunku do zmiany wydajności. Opóźnienie to wynosiło przeciętnie około jednego miesiąca.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania pozwoliły zidentyfikować 74 wypływy wód podziemnych w zlewni górnej Drzewiczki przy wskaźniku krenologicznym wynoszącym $0,71 \text{ źr} \cdot \text{km}^{-2}$. Bardzo podobny wynik uzyskany został dla sąsiadującej od wschodu zlewni Radomki – $0,76 \text{ źr} \cdot \text{km}^{-2}$ (Kuc 1999; Afelt 2002). Struktura typów wypływów w wyżej wymienionych zlewniach była również podobna: 60% – źródła, 4% – wysięki, 36% – wycieki. Wynika to ze zbliżonej budowy geologicznej i struktury hydrogeologicznej obu zlewni.

Przeprowadzone analizy korelacji wysokości wypływów nad poziomem morza z ich podstawowymi charakterystykami fizycznymi wskazują na istotne statystycznie związki wysokości z wydajnością wypływów (korelacja dodatnia) oraz przewodnictwem elektrolitycznym właściwym wód (korelacja ujemna). Nie zanotowano natomiast związku wysokości wypływu nad poziomem morza z temperaturą wód źródłanych. Przypuszczalnie jest to wynikiem niewielkiej deniwelacji zlewni.

W rocznym przebiegu zmienności wydajności źródeł maksima związane z reakcją na zasilenie opadami pory letniej w większości przypadków są wyższe od tych związanych z wiosennymi lub śródzimowymi roztopami. Tu również występuje podobieństwo do sezonowej zmienności wydajności źródeł w sąsiedniej zlewni górnej Radomki.

Średnie wartości temperatury wód wszystkich obserwowanych źródeł były bardzo zbliżone do średniej rocznej temperatury powietrza wynoszącej w badanym okresie $9,0^{\circ}\text{C}$. Najbardziej stabilną temperaturą wody cechowało się źródło Stoki (amplituda wyniosła tylko $0,2^{\circ}\text{C}$). Źródło to jest obiektem drenującym głębokie zbiorniki wód podziemnych, gdzie wahania temperatury są nieznaczne.

Wody o najniższym przewodnictwie elektrolitycznym właściwym (SEC) notowano od czerwca 2017 do połowy listopada 2017. Zmiany przewodnictwa elektrolitycznego właściwego zależą od zmian wydajności wypływów, a reakcja SEC na wzrost wydajności następuje przeciętnie po miesiącu.

Literatura

Afelt A. 2002. Warunki występowania i ustrój hydrogeiczny źródeł w dorzeczu górnej Ra-

domki. *Prace i Studia Geograficzne* 31: 241-256.

Bartnik A. 2007. Zróznicowanie przestrzenne wybranych cech fizykochemicznych wód źródeł w zlewni Bystrzycy Dusznickiej. W: P. Jokiel, P. Moniewski, M. Ziułkiewicz (red.) *Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne*. Regina Poloniae, Łódź: 181-191.

Byczkowski A. Hydrologia T. II. Wyd. Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa.

Cieśla E., Lindner L. 1987. Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Końskie. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

Cieśla E., Lindner L., Semil J. 1996. Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000, arkusz Niekań. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

Chełmicki W., Jokiel P., Michalczyk Z., Moniewski P. 2011. Distribution, discharge and regional characteristics of springs in Poland. *Episodes* 34(4): 244-256.

Czarnecka H. 1975. Reżim źródeł na Wyżynie Małopolskiej. *Prace Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej* 6: 59-151.

Dynowska I. 1991. Obieg wody. W: L. Starkel (red.) *Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze*. PWN, Warszawa: 355-386.

Fac-Beneda J., Jereczek A. 2009. Wypływy wód podziemnych w dolinie Łeby. W: R. Bogdanowicz, J. Fac-Beneda (red.) *Zasoby i ochrona wód: obieg wody i materii w zlewniach rzecznych*. Fundacja Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego: 403-406.

Jekatierynczuk-Rudczyk E. 1999. Hydrochemia czwartorzędowych źródeł dorzecza Supraśli (maszynopis w Uniwersytecie Marii Curie-Skłodowskiej).

Jekatierynczuk-Rudczyk E. 2003. Transformacja składu chemicznego wody w strefie źródeł nizinnych. *Przegląd Geologiczny* 51(11): 966.

Jakatierynczuk-Rudczyk E. 2007. Charakterystyka jakości wody naturalnych wypływów wód podziemnych Białegostoku. W: P. Jokiel, P. Moniewski, M. Ziułkiewicz (red.) *Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne*. Regina Poloniae, Łódź: 234-241.

Jokiel P. 2002. Woda na zapleczu wielkiego miasta. Wyd. Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.

Karaszewski W. 1962. Stratygrafia liasu w północnym obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich.

- Prace Instytutu Geologii* T. 30 (cz. III), Warszawa.
- Klimat IMGW-PIB. 2024. Online: https://klimat.imgw.pl/pl/climate-normals/TSR_AVE (data ostatniego dostępu: 24. 04. 2024).
- Kolago C. 1984. Objąsnienia do mapy hydrogeologicznej Polski 1:200 000, arkusz Kielce. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Kondracki J. 1998. Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa.
- Kuc A. 1999. Źródła zlewni górnej Radomki. (maszynopis w Zakładzie Hydrologii i Gospodarki Wodnej Uniwersytetu Łódzkiego).
- Mapa hydrograficzna Polski 1:50 000*, arkusz Końskie (źródło internetowe). 2016. EnviDMS. Główny Urząd Geodezji i Kartografii, Warszawa.
- Matysik M. 2007. Chemizm i jakość wód wybranych źródeł w zlewni Białki Lelowskiej. W: P. Jokiel, P. Moniewski, M. Ziułkiewicz (red.) *Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne*. Regina Poloniae: 200-212.
- Łoszewski H. 2000. Największe źródło Puszczy Knyszyńskiej i konieczność jego ochrony. *Białostoczczyzna* 1(57): 103-116.
- Małecka D. 1997. Zmiany wydajności Niebieskich źródeł. Przyczyny i skutki. *Acta Universitatis Lodzensis – Folia Geographica Phisica* 2: 95-114.
- Michalczyk Z. (red.). 2001. Źródła Wyżyny Lubelskiej i Rostocza. Wyd. Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin.
- Moniewski P. 2004. Źródła okolic Łodzi. *Acta Geographica Lodziensia* 87.
- Moniewski P., Siwek J. 2017. Źródła i inne wpływy wód podziemnych. W: P. Jokiel, W. Marszelewski, J. Pociask-Karteczka (red.) *Hydrologia Polski*. PWN, Warszawa: 89-96.
- Moniewski P. Stolarska M. 2007. Podstawowe właściwości fizykochemiczne wód w niszy źródłiskowej Rosanów I. W: P. Jokiel, P. Moniewski, M. Ziułkiewicz (red.) *Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne*. Regina Poloniae: 213-224.
- Pazdro Z. 1983. Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- 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.
- Stępień M. 2007. Zmienność chemizmu wód źródeł w zależności od wybranych czynników przyrodniczych na przykładzie zlewni Ożarskiego Potoku i Mąkolnicy (Sudety Środkowe i Wschodnie). W: P. Jokiel, P. Moniewski, M. Ziułkiewicz (red.) *Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne*. Regina Poloniae: 192-199.
- Stolarska M. 2008. Sezonowe zmiany zasobów i podstawowych właściwości fizykochemicznych wód w małej zlewni nizinnej. *Acta Geographica Lodziensia* 94.
- Szczucińska A.M. 2009. Wpływy wód podziemnych w Rynnie Gryżyńsko-Grabińskiej. Wyd. Naukowe Bogucki, Poznań.
- Szpakiewicz M. 1973. Wody podziemne w utworach liasu północnego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich na obszarze przyległym do doliny Kamiennej. *Biuletyn Instytutu Geologicznego* 277.
- Tomalski P., Tomaszewski E. 2015. Metody, formuły i wzory obliczeniowe zastosowane w pracy. W: P. Jokiel (red.) *Metody statystyczne w analizach hydrologicznych środkowej Polski*. Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź: 215-273.
- Woch F. 2015. Wademekum klasyfikatora gleb. Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa 89. Państwowy Instytut Badawczy w Puławach, Puławy.

Summary

Field research was carried out in the upper Drzewiczka catchment, which is enclosed by the water gauge cross-section at Morzywół, and in its left tributary, the Młynkowska Rzeka, up to the water gauge cross-section at Młynek Nieświński. The total area of the two primary catchments outlined in this way is ~105 km². The research area is located on the border of the Masovian and Świętokrzyskie Voivodeships, within the Opoczno Hills, which belong to the Małopolska Upland macroregion. This hydrogeological subregion (Świętokrzyskie Mountain surrounding) is characterised by main aquifers in Jurassic formations and, locally, aquifers in Quaternary formations (sands and gravels). Lower Jurassic sandstones of the Zarzecze and Ostrowiec series are particularly important for the circulation of groundwater. Geologically, the analysed area can be divided into two parts. The eastern part is characterised by a predominance of Lower Jurassic deposits occurring on the surface (~30% of the catchment area) and the western part, which is distinctively more low-lying and covered almost entirely by Quaternary deposits, though of insignificant thickness.

A detailed crenological mapping of the upper Drzewiczka catchment was carried out in June and July 2017. Field research consisted of finding all existing outflows, both concentrated and unconcentrated. Each found object was located using a Garmin etrex 20x GPS receiver. The discharge of these objects was measured using the volumetric method or the HEGA-1 hydrometric current meter. The basic physical properties of water (temperature and specific electrical conductivity) were measured by an Elmetron CX-401 multifunctional device. The basic features of the outflows, such as type, morphological location, outflow method, hydrogeological type and water supply, were also determined. Locating the outflows using a GPS receiver allowed the height above sea level of each of them to be read. These readings made it possible to check whether the physical and chemical properties of water in individual objects are correlated with the height at which they are located. For this purpose, Pearson's linear correlation coefficients were calculated. The statistical significance of the correlation was checked using the Student's *t* test at the level of $\alpha = 0.05$. If the correlation was statistically significant, the linear regression equation and the coefficient of determination (R^2) were calculated, which is a simple measure of its fit to the empirical data.

In order to identify the annual variability of characteristics in the study area, five springs were selected and observed every two weeks for a year. Observations began on January 22, 2017 and ended on January 21, 2018. The measurements included the basic physical parameters of water: temperature and electrolytic conductivity. In addition, the discharge of each of these outflow was measured.

The research allowed the identification of 74 outflows in the upper Drzewiczka catchment, so the crenological index for this area is 0.71 springs·km⁻². A very similar result was obtained for the Radomka catchment area adjacent to the east – 0.76 springs·km⁻². The percentages of different types of outflows are also similar in both catchments – 60% are springs, 4% are leakages, and ~36% are seepages. This is due to the similar geological structure of both catchments.

The analyses carried out on the correlation of the height of outflows above sea level with their basic physical characteristics indicate statistically significant relationships between the height and the discharges (positive correlation). However, no relationship between the height above sea level and temperature was noted. Perhaps this is the result of a small difference in the height of the outflows (about 60 meters between the lowest and the highest).

In the annual course of spring discharge variability, the maxima associated with summer rainfall are, in most cases (4 out of 5), higher than those associated with spring or mid-winter snowmelt. Here, too, there is a similarity to the springs in the neighbouring upper Radomka catchment.

The average water temperatures of all observed springs were very close to the average annual air temperature (9°C in the studied period). The Stoki spring had the most stable water temperature (amplitude was only 0.2°C). This spring drains deep groundwater reservoirs where temperature fluctuations are insignificant.

Water with the lowest specific electrical conductivity was recorded from June to mid-November. The covariation of SEC in springs is the highest among those analysed. Changes in specific electrical conductivity depend on changes in discharge, and the SEC response to the increase in discharge occurs, on average, after a month.