

Malwina KOZEK
Uniwersytet Łódzki
Wydział Nauk Geograficznych
e-mail: malwina.kozek@geo.uni.lodz.pl
ORCID: 0000-0001-7743-6636

ZRÓŻNICOWANIE I ZMIANY CECH WYPŁYWÓW WÓD PODZIEMNYCH W ZLEWNI GÓRNEJ BYSTRZYCY DUSZNICKIEJ

Variability and changes in features of springs in the upper Bystrzyca Dusznicka river catchment

Abstract: The study presents the assessment of spatial distribution, including vertical variability of selected features of springs. For this aim, the data obtained during three hydrological mapping sessions in the upper Bystrzyca Dusznicka river catchment in the period of 1995–2018 was used. Thanks to the long-term observation series, comparative spatial analyzes of statistical distribution of spring's selected features were possible. Furthermore, the variability of temperature, reaction and conductivity of rivers and springs were estimated, assessing these parameters along the tributaries course of the Bystrzyca Dusznicka river. Results for years of various precipitation conditions were compared. Presented analyzes allowed to identify and valorize the factors determining the variability and changes in springs characteristics during dry and moist years.

Key words: springs, spring regime, water physicochemical parameters

WSTĘP

Naturalne wypływy wód podziemnych są przedmiotem licznych badań naukowych, gdyż stanowią łącznik pomiędzy hydrogeologicznym środowiskiem zlewni a wodami powierzchniowymi. Ich identyfikacja posiada ogromne znaczenie poznawcze (Moniewski, Siwek 2017). Kartowanie źródeł i innych typów wypływów pomaga rozpoznać warunki hydrogeologiczne danego obszaru. Wody źródlane umożliwiają badanie szeregu procesów podpowierzchniowych, jak odpływu podziemnego, czy aktywnych procesów geologicznych. Dzięki badaniu wydajności różnych rodzajów wypływów wód podziemnych, czy też ich właściwości fizyczno-chemicznych możliwe jest określenie takich charakterystyk, jak średni czas krążenia wody pod powierzchnią terenu, czy też wskazanie przestrzennego rozkładu i zasięgu przepływu wód podziemnych (Manga 2001). Badanie wypływów wód podziemnych jest szczególnie ważne w regionach górskich, gdzie wykonanie odwiertu badawczego jest zazwyczaj drogie, a często wręcz niemożliwe, natomiast zjawiska krenologiczne są jedynymi przejawami krążenia wód podziemnych na tych obszarach.

Wpłynęło: 18.03.2020

Zaakceptowano: 29.12.2020

Zalecany sposób cytowania / Cite as: Kozek M., 2021, Zróżnicowanie i zmiany cech wypływów wód podziemnych w zlewni górnej Bystrzycy Dusznickiej, *Prace i Studia Geograficzne*, 66.1, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 19–33, DOI: 10.48128/pisg/2021-66.1-02.

Prowadzone badania nad wpływami wód podziemnych na terenach górskich wykazują dużą zmienność sezonową, jak i przestrzenną ich rozmieszczenia, wydajności, czy cech fizyczno-chemicznych (Buczyński, Rzonca 2011; Chełmicki i in. 2011; Buczyński 2018). Silnie oddziałują na nie takie czynniki, jak warunki fizjograficzne zlewni (rzeźba terenu, struktura i budowa geologiczna, zasobność zbiorników wód podziemnych), meteorologiczne (m.in. ilość oraz struktura opadów, temperatura powietrza), a także obserwuje się wpływ czynników antropogenicznych, głównie zagospodarowania terenu. Liczba i wydajność wypływów wód podziemnych w obszarach górskich ściśle zależy od morfologii terenu oraz litologii skał podłoża, a także od warunków tektonicznych obszaru (Jetel 1985; Corsini et al. 2009; Buczyński i in. 2011; Bense et al. 2013; Macior i in. 2015; Buczyński 2018).

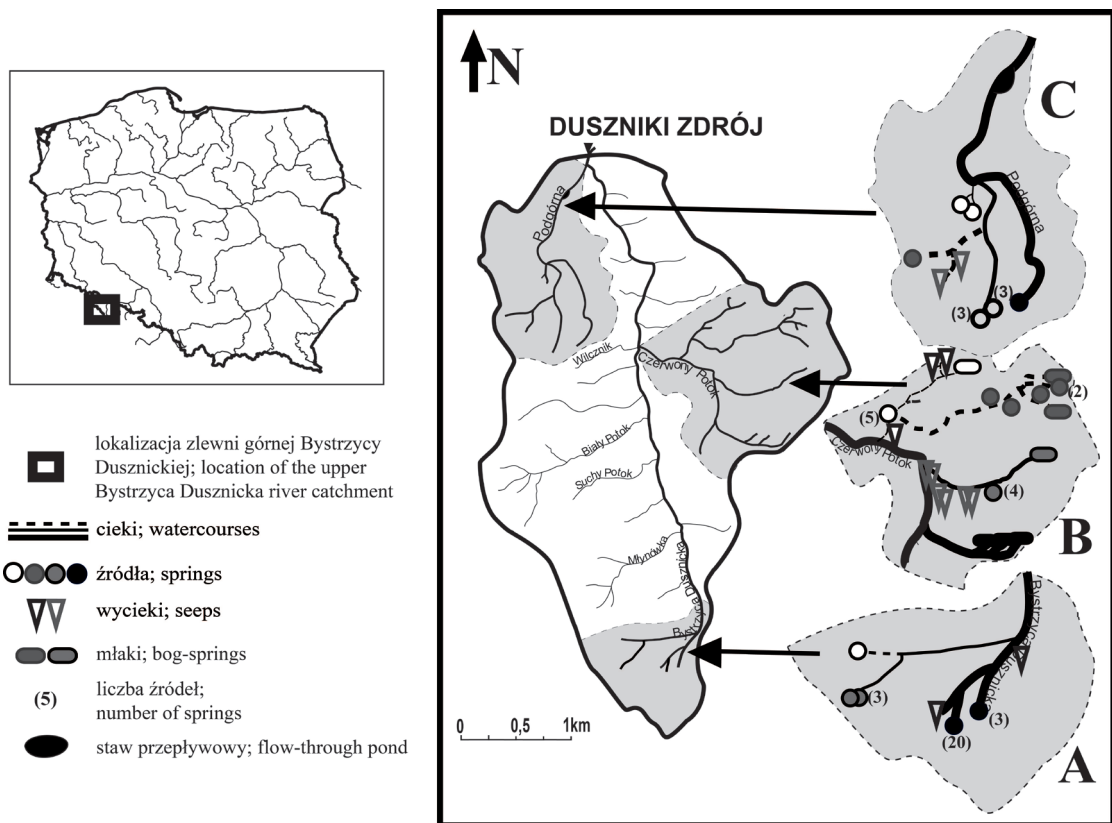
Kartowania krenologiczne w zlewni górnej Bystrzycy Dusznickiej prowadzone są od wielu lat, co zaowocowało dużym zbiorem danych o wydajności wypływów, temperaturze, odczynie i przewodnictwie elektrolitycznym ich wód. Pomiary i obliczenia parametrów wody wykonywane były zawsze jednakową metodyką, dzięki czemu pozyskane dane są porównywalne i umożliwiają prowadzenie analiz w długim horyzoncie czasowym. Niniejsze badanie ma na celu ocenę zróżnicowania przestrzennego, w tym strefowości pionowej wybranych charakterystyk wypływów wód podziemnych w odniesieniu do lat różniących się warunkami opadowymi. Wieloletnie serie obserwacyjne pozwoliły na wykonanie porównawczych analiz przestrzennych, jak i oceny rozkładów statystycznych wybranych cech obiektów krenologicznych, a odniesienie tych badań do lat o różnym stopniu uwilgotnienia umożliwiło wskazanie czynników decydujących o kształtowaniu się cech wypływów wód podziemnych w latach suchych i wilgotnych.

OBSZAR BADAŃ

Badany obszar stanowi zlewnia górnej Bystrzycy Dusznickiej zamknięta przekrojem hydrometrycznym w Dusznikach Zdroju (ryc. 1). Zlewnia ta położona jest w Sudetach Środkowych, w Kotlinie Kłodzkiej. Obejmuje ona swoim zasięgiem północny fragment Gór Bystrzyckich oraz południowo-wschodnią część Gór Orlickich, które rozdziela dolina Bystrzycy Dusznickiej (Cymerman 1992).

Rzeźba terenu ma charakter górzisty. Najwyższym wzniesieniem w zlewni jest Orlica (1080 m n.p.m). Wysokości względne są duże, gdyż sięgają 300–350 m. Badany odcinek Bystrzycy Dusznickiej płynie w przełomowej dolinie, charakteryzującej się silnym zwężeniem teras dennych, stromymi zboczami, niemal prostolinijnym przebiegiem cieków oraz intensywną erozją wgłębną. Doliny rzeczne w zlewni wykazują zróżnicowaną morfologię. W górnych odcinkach przeważają doliny wciosowe z wysokimi i stromymi zboczami. W ich partiach źródłiskowych występują zazwyczaj doliny nieckowate. Obie te formy przechodzą stopniowo w dół rzeki w doliny płaskodenne, co jest charakterystyczne również dla samej Bystrzycy Dusznickiej. Najstarszym elementem rzeźby zlewni jest zrównanie trzeciorzędowe (paleogeńsko-neogeńskie), stanowiące rozległe spłaszczenie grzbietowe, na którym wykształciło się torfowisko wysokie – „Torfowisko pod Zieleńcem” (Cymerman 1992).

W badanej zlewni występują utwory dwóch jednostek geologicznych – tzw. metamorfiku Gór Orlickich i Bystrzyckich (metamorfik orlicko-kłodzki), zapadające w znacznej części pod osady kredy górnej depresji śródsudeckiej (Cymerman 1992). Trzon krystaliczny budują proterozoiczne gnejsy (ortognejsy typu śnieżnickiego), przykryte głównie piaskowcami kwarcowo-skaleniovymi. Trzeci kompleks skalny stanowią łupki łyszczycowe z wkładkami dolomitów krystalicznych, które zostały nasunięte i sfałdowane w postaci tzw. nasunięcia Zieleńca (ryc. 2). Skały podłoża przykryte są zwietrzeliną stokową lub osadami aluwialnymi (Cymerman 1990, 1992, 1999; Frąckiewicz, Teisseyre 1997; Bartnik, Tomaszewski 1998; Żelaźniewicz 2015). Oprócz wspomnianego nasunięcia Zieleńca, w badanej zlewni występują liczne uskoki i spēkania podłoża kredowego. Wśród nich wyróżnić można dwa równoleżnikowe: uskoki Granicznej-Paszkowa i Podgórze-Pokrzywnej oraz jeden bardziej południowy – uskoki Dusznik Zdroju-Spalonej (Cymerman 1992).



Ryc. 1. Zlewnia górnej Bystrzycy Dusznickiej i jej wybrane zlewnie badawcze: A – zlewnia źródłowego odcinka Bystrzycy Dusznickiej, B – zlewnia Czerwonego Potoku, C – zlewnia Podgórnej.

Źródło: opracowanie własne

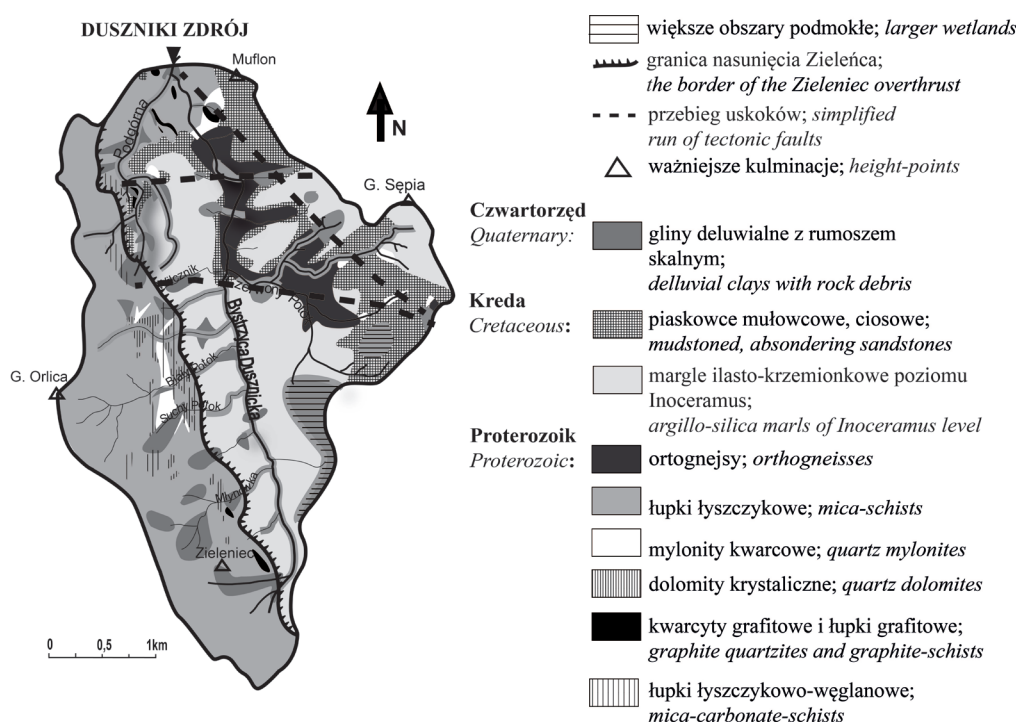
Fig. 1. The upper Bystrzyca Dusznicka river catchment and its selected study subcatchments: A – the catchment of the riverhead section of Bystrzyca Dusznicka river, B – Czerwony Potok stream catchment, C – Podgórna stream catchment.

Source: author's own elaboration

Zlewnia górnej Bystrzycy Dusznickiej należy do zlewiska Morza Bałtyckiego. Bystrzyca Dusznicka jest ciekim III rzędu i lewobrzeżnym dopływem Nysy Kłodzkiej, należącym do dorzecza Odry. Powierzchnia jej zlewni zamkniętej wodowskazem w Dusznikach Zdroju wynosi 24,5 km², a gęstość sieci rzecznej – 1,76 km·km⁻² (Bartnik, Walisch 1997). Badana zlewnia posiada wydłużony kształt (wskaźnik wydłużenia = 0,56) o przebiegu południkowym. Według typologii reżimów rzecznych Polski opracowanej przez I. Dynowską (1971), Bystrzyca Dusznicka charakteryzuje się ustrojem śnieżno-deszczowym, z dominującym wezbraniem wiosennym, ale również wyraźnie zaznaczającym się letnim wezbraniem opadowym. Odpływ całkowity waha się od 10 do 20 dm³·s⁻¹·km⁻², a odpływ podziemny od 5 do 7 dm³·s⁻¹·km⁻². Udział odpływu podziemnego w całkowitym w zlewni waha się od 30 do 50% (Jokiel 1994; Olichwer 2001).

W strukturze hydrogeologicznej zlewni, pierwsze piętro wodonośne stanowią wody w plejstocénskich żwirach i piaskach teras rzecznych oraz w osadach deluwialnych i rumoszu skalnym. Występuje ono fragmentarycznie głównie w wąskich dolinach potoków, będących bezpośrednimi dopływami Bystrzycy Dusznickiej. Struktury te charakteryzuje stosunkowo duża retencyjność. Piętro zasilane jest bezpośrednio poprzez infiltrację opadów lub przez wody spływające ze zboczy dolin (Tarka 1997; Olichwer 2007). Najbardziej zasobnym zbiornikiem wód podziemnych badanej zlewni jest zbiornik wód górnokredowych. Tworzą go dwa poziomy w uszczelinionych piaskowcach, które wykazują oddzielność płytową lub ciosową, nawiązującą do dyslokacji Dusznik Zdroju-Spalonej (Cyerman 1992; Bartnik 2007). Średnia wartość porowatości efektywnej piaskowców kredowych wynosi 15,7%, co wpływa na magazynowanie przez te skały dużych ilości wód podziemnych (Tarka 2003).

Wody gromadzone w tych utworach mają charakter wód szczelinowo-porowych, odznaczają się dobrą jakością i słabym zmineralizowaniem. Górnokredowy poziom wodonośny charakteryzuje się obecnością bezpośrednich kontaktów hydraulicznych z poziomem dolnym (w strefach dyslokacji). Ponadto, w miejscach, gdzie utwory kredy przykryte są utworami czwartorzędowymi, poziom górnokredowy łączy się z wodami piętra czwartorzędowego, tworząc wspólną strefę zawodnienia (Olichwer 2007). Na wychodniach skał górnokredowych obserwuje się liczne, stosunkowo wydajne źródła i wycieki o charakterze warstwowym, warstwowo-szczelinowym i szczelinowo-uskokowym.



Ryc. 2. Budowa geologiczna zlewni górnej Bystrzycy Dusznickiej.

Źródło: Bartnik 2007; zmienione

Fig. 2. Geology of the upper Bystrzyca Dusznicka catchment.

Source: Bartnik 2007; changed

W skałach krystalicznych wody gromadzą się w strefie spękanego masywu skalnego (wody płytkich szczelin wietrzeniowych zasilane głównie przez opady atmosferyczne) oraz w strefie uskoków wgłębnych (wody głębokiego krążenia). Przenikają się one wzajemnie, wraz ze strefą utworów pokrywowych, tworząc wspólny system krążenia.

Wody wypełniają tutaj liczne szczeliny powstałe na skutek spękań wywołanych przeobrażeniami tektonicznymi i wietrzeniowymi. Obserwuje się również wody podziemne na głębokościach około 30–40 m w strefach uskoków (Zuber i in. 1995; Bartnik, Walisch 1997; Staško 2002). Wypływy tych wód na powierzchnię są w większości zamaskowane przez zwietrzliny stokowe lub osady den dolinnych (Bartnik, Walisch 1997).

Badana zlewnia jest typową zlewnią górską, w której panują zmienne warunki pogodowe uzależnione m.in. od wyniesienia terenu oraz ekspozycji stoków. Na obszarze tym występuje średnio ponad 240 dni z ciepłą pogodą (średnia dobowa temperatura powietrza oraz skrajne dobowe wartości temperatury powietrza powyżej 0°C), natomiast z mroźną – niespełna 40. Dni z opadem atmosferycznym jest przeciętnie ponad 160 w ciągu roku. Roczne sumy opadów w dolinach wynoszą średnio 800–1000 mm, a na grzbietach przekraczają 1300 mm. Najniższa średnia roczna temperatura powietrza notowana jest w Górach Orlickich – około 4,4°C, natomiast w Dusznikach Zdroju wynosi ona 7°C. Jest tu stosunkowo niewiele dni słonecznych, przeważają dni pochmurne (około 194 dni w ciągu roku) (Woś 1995; Kaszycki 2004).

MATERIAŁ BADAWCZY I METODA OPRACOWANIA

Do badań wytypowano 3 zlewnie cząstkowe, różniące się istotnie warunkami fizjograficznymi, hydrologicznymi i hydrogeologicznymi: zlewnię źródłowego odcinka Bystrzycy Dusznickiej (A), zlewnię Czerwonego Potoku (B) oraz zlewnię Podgórną (C) (ryc. 1). Źródłowy odcinek Bystrzycy Dusznickiej charakteryzuje się bardzo wydajnym zespołem źródeł, głównie szczelinowych i szczelinowo-rumoszowych, drenujących wody z utworów metamorficznych. Czerwony Potok jest prawobrzeżnym dopływem Bystrzycy Dusznickiej, odwadniającym zachodnie stoki Gór Bystrzyckich. Wypływa z torfowiska wysokiego (Topielisko), którego powstanie wiąże się z występującą w tej części zlewni powierzchnią zrównania w strefie grzbietu. W zlewni Czerwonego Potoku, dominującymi wypływami wód podziemnych są wycieki linijne i młaki. Przez zlewnię tę przebiegają uskoki Granicznej-Paszkowa oraz Dusznik Zdroju-Spalonej, z których wypływają wody szczelinowe utworów górnej kredy. Trzecią badaną zlewnią cząstkową jest zlewnia Podgórną, odwadniająca wschodnie stoki Gór Orlickich. Zlewnia ta w porównaniu z pozostałymi, odznacza się wysokim stopniem urbanizacji (domy wczasowe, staw miejski) oraz najmniejszą liczbą wypływów wód podziemnych. Przeważają tutaj źródła szczelinowo-rumoszowe i rumoszowe o znacznie mniejszych wydajnościach niż te w zlewni źródłowego odcinka Bystrzycy Dusznickiej.

W opracowaniu wykorzystano charakterystyki wód podziemnych zmierzonych w 2018 roku. Badania terenowe prowadzono w maju. Rok 2018 można uznać za suchy na tle wielolecia 1995–2018 – roczna suma opadów sięgała 870 mm. Cały okres badawczy był bezopadowy, natomiast suma opadów w maju wyniosła niespełna 60 mm. Stworzyło to dogodne warunki do badania cech fizyczno-chemicznych wód źródłanych, szczególnie zasilanych z głębszych poziomów wodonośnych (w latach wilgotnych liczba wypływów była znacznie większa, gdyż uaktywniały się te zasilane wyłącznie z pokryw zwietrzelinowych).

Podczas prac terenowych określono położenie wszystkich zidentyfikowanych wypływów wód podziemnych (źródeł, wycieków, młak), a następnie naniesiono je na mapę w skali 1:10 000. W 2018 roku rozpoznano 69 takich wypływów (tab. 1). Z map topograficznych odczytano ich wysokości bezwzględne. Zwrócono również uwagę na sposób wypływu oraz sposób pokrycia terenu w otoczeniu źródła. W trakcie prac terenowych określono także rodzaj wodonośca, co zostało później zweryfikowane przy pomocy Szczegółowej mapy geologicznej Sudetów 1: 25 000, ark. Duszniki Zdrój (1992). Ponadto, scharakteryzowano typ morfologiczny oraz hydrogeologiczny zidentyfikowanych obiektów krenologicznych. Następnie zmierzono wydajność mniejszych wypływów wód podziemnych metodą wolumentryczną, a większych przy użyciu młynka hydrometrycznego. Dokonano również pomiarów podstawowych charakterystyk fizyczno-chemicznych wód wypływów i cieków – temperatury, odczynu oraz przewodnictwa elektrolitycznego za pomocą urządzenia CP 401 firmy ELMETRON.

Do badań wykorzystano także wyniki pomiarów z lat wilgotnych – 1995, 2005, co umożliwiło identyfikację i waloryzację czynników kształtujących cechy wypływów wód podziemnych w latach o odmiennych warunkach opadowych. Prace terenowe w tych latach wykonywane były w lipcu. Identyfikację okresów suchych i wilgotnych przeprowadzono na podstawie analizy wieloletniej struktury opadów atmosferycznych. Wykorzystano do tego sumy dobowe opadów z posterunku w Zieleńcu, udostępnione przez IMGW-PIB. Na tle wielolecia 1995–2018, lata 1995 i 2005 okazały się wilgotne (roczne sumy opadów przekraczały kolejno 1700 i 1500 mm).

W roku 1995 badania terenowe polegały głównie na identyfikacji wypływów wód podziemnych, określeniu ich położenia, rodzaju wypływu, typu morfologicznego oraz hydrogeologicznego, jak również wskazaniu rodzaju wodonośca. Zmierzono również parametry fizyczno-chemiczne wód wypływów oraz ich wydajności. W 2005 roku dokonano takich samych pomiarów terenowych, jak w roku 1995, jednak rozszerzono je o badania cech fizyczno-chemicznych wód potoków. W latach tych zidentyfikowano w zlewni górnej Bystrzycy Dusznickiej kolejno 87 i 76 obiektów krenologicznych (tab. 1).

Tab. 1. Liczba obserwowanych wypływów wód podziemnych w wybranych zlewniach cząstkowych
Table 1. Number of observed springs in selected subcatchments

Rodzaj wypływu <i>Type of spring</i>	Zlewnia źródłowego odcinka Bystrzycy Dusznickiej <i>The upper section of Bystrzyca Dusznicka river catchment</i>			Zlewnia Czerwonego Potoku <i>Czerwony Potok river catchment</i>			Zlewnia Podgórznej <i>Podgórzna river catchment</i>		
	1995	2005	2018	1995	2005	2018	1995	2005	2018
Źródło <i>Spring</i>	35	29	28	14	12	11	17	6	10
Wyciek <i>Seep</i>	0	15	2	16	3	12	3	1	2
Młaka <i>Bog-spring</i>	0	1	0	2	9	4	0	0	0
SUMA <i>Sum</i>	35	45	30	32	24	27	20	7	12

Źródło: opracowanie własne
 Source: author's own elaboration

Niniejsze opracowanie odnosi się do 2018 roku. Analizy porównawcze z latami wilgotnymi dotyczą tylko tych charakterystyk, które były wtedy mierzone. Zmienność wydajności i temperatury wypływów wód podziemnych w przedziałach wysokościowych z roku suchego została porównana ze zmiennością tych właściwości wody w roku 1995. Analizy zmienności przestrzennej parametrów fizyczno-chemicznych wód potoków i wypływów wykonane w 2018 roku zestawiono z tymi z roku 2005, co umożliwiło wskazanie struktury przestrzennej cech tych wód oraz czynników je kształtujących w latach suchych i wilgotnych.

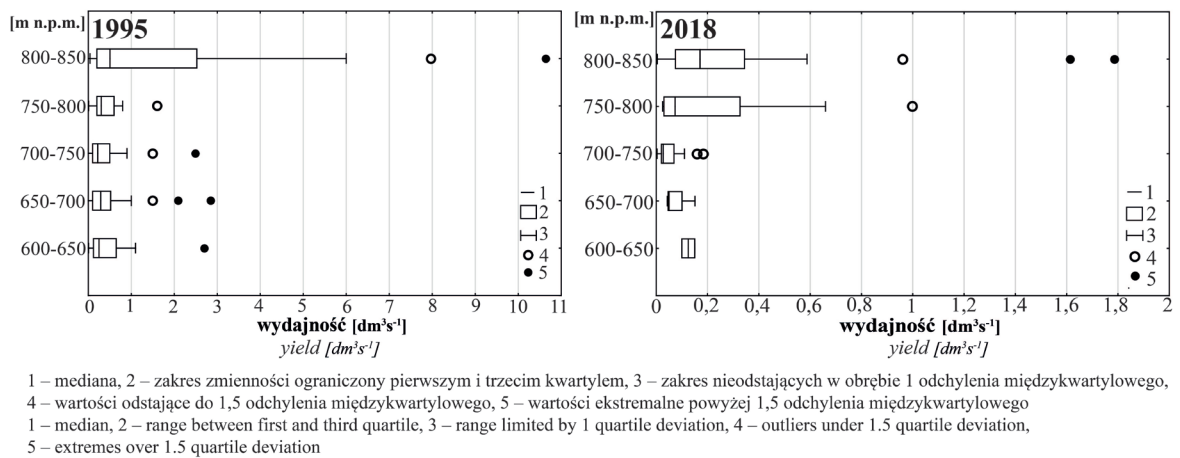
ZMIENNOŚĆ PIONOWA

Pas gór i wyżyn południowej Polski należy do najbardziej uźródłowionych obszarów kraju, które odznaczają się zazwyczaj silnym zróżnicowaniem zarówno liczby, jak i rodzajów wypływów wód podziemnych (Chełmicki i in. 2011; Moniewski, Siwek 2017). Na tę zmienność wpływa wiele czynników. Dużej liczbie i wydajności wypływów sprzyjają wysokie sumy rocznych opadów, a także długotrwały proces zanikania pokrywy śnieżnej w wyższych partiach gór. Jednak, nie tylko warunki klimatyczne posiadają tutaj kluczowe znaczenie. W obszarach górskich, na cechy wypływów wód podziemnych wpływają w dużej mierze warunki geologiczne – obecność spękań i szczelin (Moniewski, Siwek 2017; Buczyński 2018). Na przykład, w Tatrach Zachodnich są to szczeliny krasowe w utworach węglanowych, dzięki którym możliwa jest influacja, a następnie migracja wody systemem kanałów krasowych (Barczyk 2008). W Sudetach obserwuje się strefy nieciągłości tektonicznych, które wyraźnie determinują różne cechy wypływów, jak np. ich wydajność czy parametry fizyczno-chemiczne wody (Buczyński 2018).

Przeciętna wydajność badanych wypływów w roku wilgotnym (1995) była większa o prawie rząd wielkości od tej z roku suchego (2018) i wyniosła odpowiednio $1,72 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ i $0,22 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (ryc. 3). Jest to efekt znaczących opadów atmosferycznych, które odgrywają kluczową rolę w zasilaniu zbiorników wód podziemnych w zlewni górnej Bystrzycy Dusznickiej, a w konsekwencji, z pewnym opóźnieniem zwiększają wydajności wypływów. Analizując sumy opadów z trzech ostatnich miesięcy poprzedzających pomiary odnotowano niemal dwukrotną ich różnicę (1995 – 363 mm, 2018 – 183 mm), stąd tak duża dysproporcja wartości wydajności w porównywanych latach.

Rozkład badanej charakterystyki w większości stref wysokościowych był asymetrycznie dodatni. W strefie 600–750 m n.p.m. dominował dość wąski przedział międzykwartylowy, gdzie połowa wydajności skupiona wokół mediany mieściła się w zakresie liczbowym od około 0,001 do $0,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

w roku 1995 oraz od około 0,001 do 0,18 dm³·s⁻¹ w roku 2018. Warto zauważyć, że na wysokościach tych występują głównie źródła szczelinowo-rumoszowe i rumoszowe, zasilane wodami ze stref płytkiego krążenia (pierwsze piętro wodonośne) pochodzącymi z opadów atmosferycznych. Różnice obserwowane w analizowanych latach wynikają oczywiście z różnych warunków opadowych, jednak należy podkreślić, że są to relatywnie niewielkie różnice ze względu na małą pojemność retencyjną rumoszu skalnego, który dodatkowo znajduje się w kontakcie hydraulicznym z niżej występującymi wodami szczelinowymi. Nieco inaczej rozkładała się badana charakterystyka w strefie wysokościowej 750–800 m n.p.m. Jej przedział zmienności zarówno w roku wilgotnym, jak i suchym był bardzo podobny, co świadczy o dużej zdolności retencyjnej zbiorników wód podziemnych w strefie zrównań trzeciorzędowych. W przedziale 800–850 m n.p.m. bardzo dużą rolę w kształtowaniu wydajności wypływów odgrywają warunki tektoniczne. Wydatki źródeł są tu największe i związane z przebiegiem granicy nasunięcia Zieleńca. Jest to strefa położona między dwoma blokami, które uległy zróźnicowanym ruchom pionowym, a także znacznym wychyleniom i rotacji, w efekcie czego rozwinął się system bardzo drożnych szczelin, zasilanych przez opady atmosferyczne, umożliwiające powstanie licznych i obfitych źródeł (Cymerman 1992). Przedział międzykwartylowy jest szeroki, czyli zmienność wydajności jest duża. Na wysokościach tych można zaobserwować zarówno bardzo wydajne źródła zasilane bezpośrednio ze szczelin oraz mniej wydajne zasilane na drodze tranzytu poprzez pokrywy zwietrzelinowe. Dwukrotny wzrost sumy opadów w miesiącach poprzedzających wykonanie pomiarów w roku 1995, spowodował, że wartości ekstremalne w tym roku są niemal 6 razy większe od tych z roku 2018. Dodatkowo, wydajniejsze wypływy wód podziemnych obserwowane w niżej położonych częściach zlewni, mogą być związane z innymi uskokami, m.in. Granicznej – Paszkowa, Pogórza – Pokrzywnej oraz Dusznik Zdroju – Spalanej.



Ryc. 3. Rozkłady wydajności wypływów wód podziemnych w przedziałach wysokościowych w roku wilgotnym (1995) i suchym (2018).

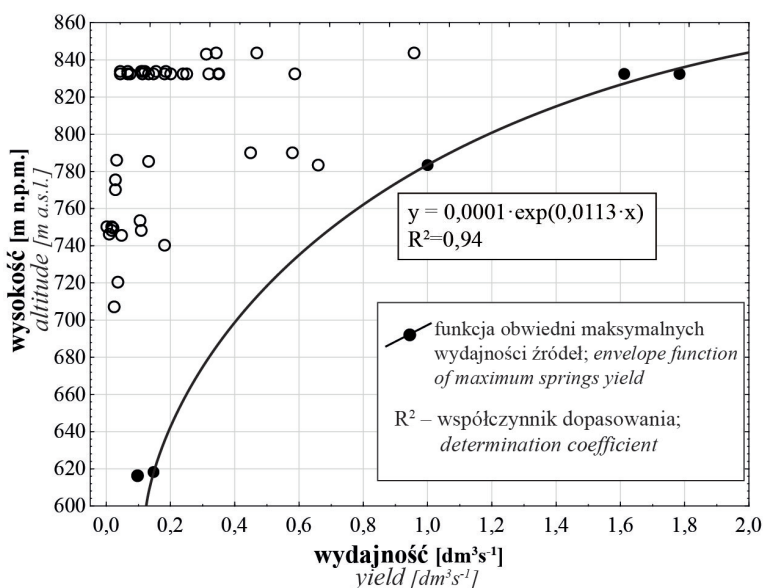
Źródło: opracowanie własne

Fig. 3. Distribution of springs yields in height ranges in wet (1995) and dry (2018) years.

Source: author's own elaboration

Wydajności źródeł w roku suchym wykazały pewne powiązania z rzędną ich położenia (ryc. 4). Większość wartości tworzy chmurę punktów niemożliwych do opisaną funkcją liniową, jednak obwiednia złożona z punktów o maksymalnych wartościach wydajności, jakie występują na danych wysokościach daje się opisać równaniem funkcji wykładniczej o bardzo wysokim stopniu dopasowania ($R^2 = 0,94$). Można zatem stwierdzić, że istnieje istotny związek między maksymalnymi wydajnościami źródeł a ich wysokością bezwzględną, co zdeterminowane jest występowaniem znacznie obfitszych opadów atmosferycznych na grzbietach w porównaniu z dolinami (średnia roczna suma opadów w dolinach w zlewni Bystrzycy Dusznickiej wynosi 800–1000 mm, z kolei na grzbietach – 1300 mm) i opóźnionym procesem topnienia pokrywy śnieżnej, lecz również wynika to ze zna-

czącej roli warunków hydrogeologicznych, tj. szczelinowego zasilania źródeł oraz obecności bezpośrednich kontaktów hydraulicznych ze strefą głębszego krążenia (uskoki, nasunięcie Zieleńca).



Ryc. 4. Związek między wydajnością źródeł a ich wysokością w 2018 roku.

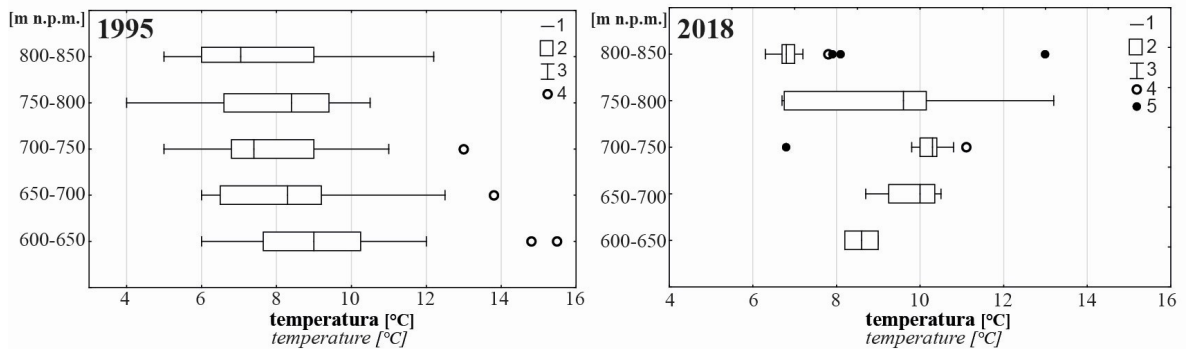
Źródło: opracowanie własne

Fig. 4. Relationship between springs yield and altitude in 2018.

Source: author's own elaboration

Przeciętne wartości temperatury wypływów wód podziemnych były mniej zróżnicowane niż ich wydajności i wynosiły 8,4°C w 2018 roku oraz 7,6°C w 1995 roku (ryc. 5). W roku wilgotnym zaobserwowano szerokie przedziały zmienności temperatury, na skutek dopływu zwiększonej ilości wód opadowych mieszających się w strefie bezpośredniego zasilania źródła z wodami podziemnymi. Z kolei w roku suchym, ze względu na dużo mniejsze natężenie tej formy alimentacji, zmienność opisywanego parametru była znacznie mniejsza. Charakterystyczny rozkład zaobserwowano również na wysokościach 750–800 m n.p.m., gdzie zmienność temperatury była duża zarówno w roku 1995, jak i 2018. Związane jest to z występowaniem różnych typów wypływów: źródła, młaki oraz wycieki linijne. Te dwa ostatnie charakteryzuje podwyższona temperatura wody na skutek dłuższego jej przebywania przy powierzchni terenu, względem których źródła charakteryzują się niższą temperaturą, stąd tak duże zróżnicowanie wartości. Ponadto, same źródła mogą różnić się temperaturą, np. źródła szczelinowe będą charakteryzować się niższymi jej wartościami, z kolei źródła zasilane na drodze tranzytu poprzez pokrywy zwietrzelinowe będą miały wyższą temperaturę w wyniku nagrzewania się wody krążącej przy powierzchni terenu.

Badając wyłącznie źródła, zaobserwowano w 2018 roku związek między ich temperaturą, a rzędną położenia (ryc. 6). Punkty na wykresie ułożyły się w trzy charakterystyczne grupy. Pierwsza z nich (2-elementowa) obejmuje źródła o średniej dla tego roku temperaturze 8–9°C (A); wypływy te mają charakter rumoszowy i położone są najniżej (w zlewni Podgórnjej). Kolejna grupa składa się z 11 źródeł o najwyższej temperaturze, występujących w obrębie zrównań paleogeńsko-neogeńskich (B). Ostatnią, najliczniejszą grupę stanowią źródła Bystrzycy Dusznickiej oraz Podgórnjej; charakteryzuje je najniższa temperatura, związana z wpływem wód w miejscach uskoku (C). Grupowanie punktów na wykresie wykazuje wyraźny związek z warunkami hydrogeologicznymi. Najniższa temperatura wody cechuje źródła szczelinowe, drenujące wody utworów metamorficznych oraz osadów kredy górnej. Wyższa temperatura charakteryzuje z kolei wody źródeł szczelinowo-rumoszowych oraz rumoszowych, na skutek ich dłuższego krążenia w pokrywach zwietrzelinowych, a w konsekwencji ich nagrzewania się.



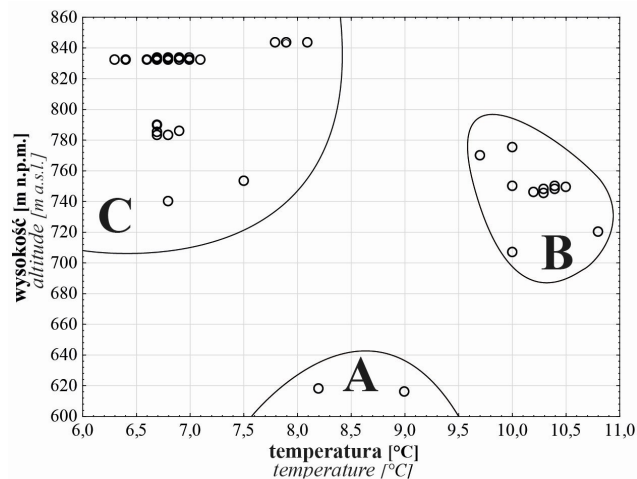
1 – mediana, 2 – zakres zmienności ograniczony pierwszym i trzecim kwartylem, 3 – zakres nieodstających w obrębie 1 odchylenia międzykwartylowego, 4 – wartości odstające do 1,5 odchylenia międzykwartylowego, 5 – wartości ekstremalne powyżej 1,5 odchylenia międzykwartylowego
 1 – median, 2 – range between first and third quartile, 3 – range limited by 1 quartile deviation, 4 – outliers under 1.5 quartile deviation, 5 – extremes over 1.5 quartile deviation

Ryc. 5. Rozkłady temperatury wypływów wód podziemnych w przedziałach wysokościowych w roku wilgotnym (1995) i suchym (2018).

Źródło: opracowanie własne

Fig. 5. Distribution of springs temperature in height ranges in wet (1995) and dry (2018) years.

Source: author's own elaboration



Ryc. 6. Związek między temperaturą źródeł a ich wysokością w 2018 roku.

Źródło: opracowanie własne

Fig. 6. Relationship between springs temperature and their altitude in 2018.

Source: author's own elaboration

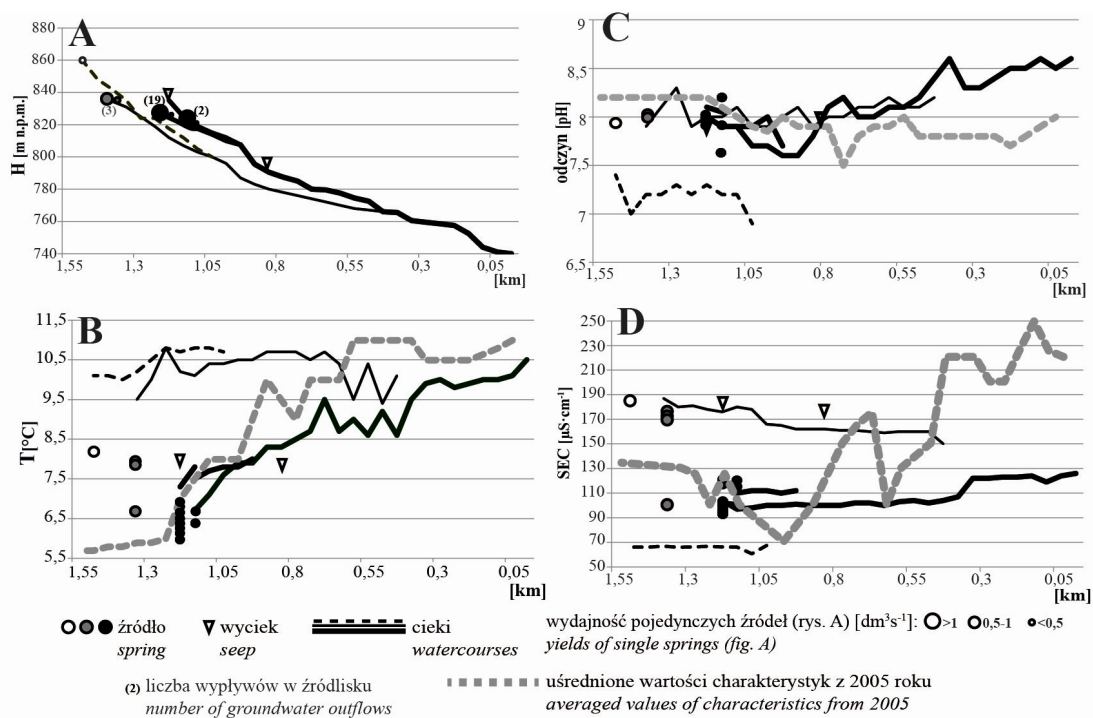
ZMIENNOŚĆ PRZESTRZENNA

W kolejnym etapie badań analizie poddano przestrzenną zmienność wybranych parametrów fizyczno-chemicznych wody, takich jak temperatura, odczyn i przewodność elektrolityczna właściwa. Badanie tych cech wypływów wód podziemnych jest istotne ze względu na ich ogromną rolę w kształtowaniu właściwości wód powierzchniowych, zwłaszcza górnych biegów rzek i potoków. Źródła nie tylko inicjują reżim przepływu cieków, ale również właściwości fizyczne i hydrochemiczne ich wód (Moniewski, Siwek 2017). Wody podziemne uczestniczą w różnych procesach chemicznych i fizycznych, m.in. rozpuszczają skały oraz przenoszą materię mineralną i organiczną w zlewni. Substancje te mogą pochodzić z dostawy atmosferycznej, obiegu biologicznego, a także działalności antropogenicznej. Niektóre parametry fizyczno-chemiczne wód, jak np. przewodnictwo elektrolityczne, informują o czasie i intensywności kontaktu wód podziemnych ze środowiskiem skalnym (Mazurek 2007).

Bystrzyca Dusznicka bierze początek w zespole źródeł o wydajnościach przekraczających $1 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (ryc. 7). Znajdują się one na wysokości 820-860 m n.p.m. i występują w postaci większych zespołów.

W 2018 roku w źródłisku tym zidentyfikowano 20 wypływów (ryc. 7A). Pozostałe źródła także tworzyły grupy, jednak nie tak liczne. W tej części zlewni Bystrzycy Dusznickiej zaobserwowano znaczne podobieństwo średnich wartości temperatury wody w roku suchym i wilgotnym (odpowiednio – 8,9°C oraz 9,5°C) oraz ich wyraźny wzrost z biegiem rzeki (ryc. 7B). Najniższe wartości tego parametru (5,7–6,8°C) dotyczyły wód wypływających ze źródeł szczelinowych. Niewielkie spadki temperatury wody zaobserwowano również w miejscu, gdzie przebiega granica nasunięcia Zieleńca, co wskazuje na drenowanie chłodniejszych wód szczelinowych. Wyższe wartości temperatury wody dotyczyły cieków odwadniających południowe stoki Zieleńca, co związane jest z długim i równomiernym ich nagrzewaniem. Ponadto, u podnóża zboczy zwietrzelina (rumoszowo-gliniasta), w której gromadzą się płytkie wody podziemne osiąga największą miąższość. Wody te nagrzewają się w wyniku dłuższego przebywania przy powierzchni i jednocześnie zasilają wody powierzchniowe.

Odczyn wody na tym odcinku charakteryzował się niewielką zmiennością zarówno w roku 2018 jak i 2005 (ryc. 7C). Wahał się od obojętnego do zasadowego, a jego średnie wartości były niemal identyczne (2005 – pH 7,95, 2018 – pH 7,88). Najniższe wartości pH dotyczyły cieku odwadniającego stoki Zieleńca, które porośnięte są lasem świerkowym z grubą warstwą igliwia. Ponadto, wśród utworów czwartorzędowych dominują tutaj gliny deluwialne z rumoszem skalnym o odczynie lekko kwaśnym (*Szczegółowa mapa geologiczna...*, 1992). Największe różnice w analizowanych latach zaobserwowano w przypadku zmienności przewodności elektrolitycznej właściwej (ryc. 7D). Przebiegająca przewodność wód w roku 1995 wyniosła $150 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, natomiast w 2018 – $118 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.



Ryc. 7. Zmienność parametrów fizyczno-chemicznych wody w roku wilgotnym (2005) i suchym (2018) wzdłuż źródłowego odcinka Bystrzycy Dusznickiej: A – profil podłużny rzeki, B – temperatura wody, C – odczyn wody, D – przewodność elektrolityczna właściwa wody; szara przerywana linia przedstawia uśrednione wartości badanych charakterystyk wypływów i cieków w 2005 roku, pozostałe linie i sygnatury przedstawiają wartości badanych cech w 2018 roku i odpowiadają tym z ryc. 1.

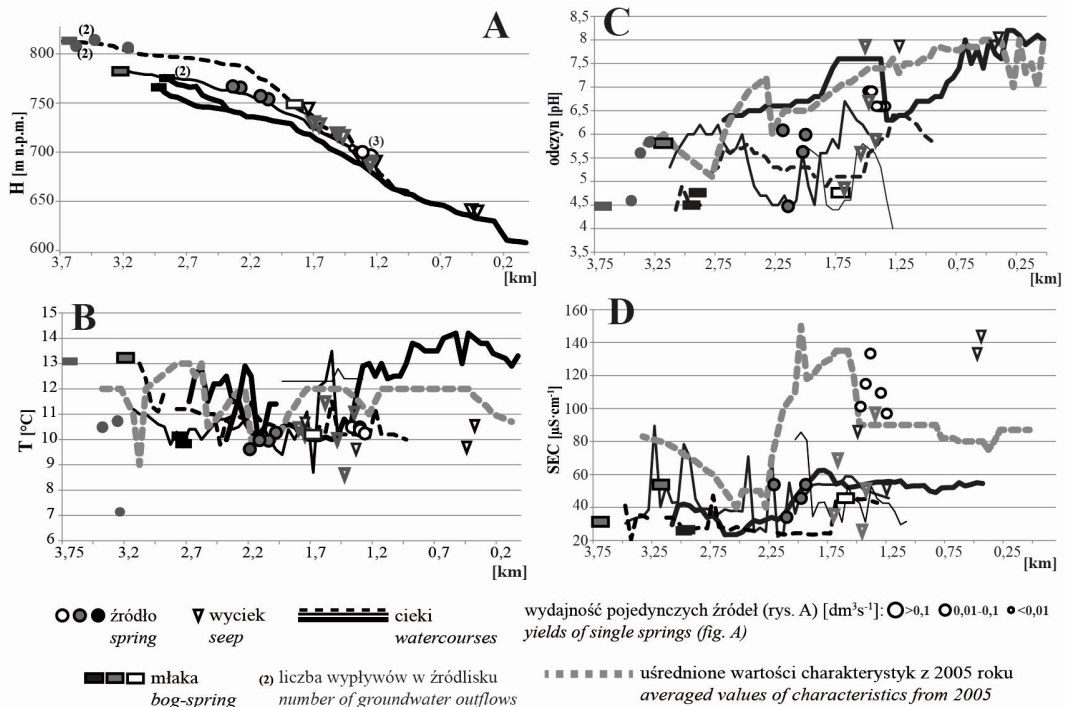
Źródło: opracowanie własne.

Fig. 7. Variability of physicochemical parameters of water in a wet (2005) and dry year (2018) along the upper section of Bystrzyca Dusznicka river: A – stream profile, B – water temperature, C – water pH, D – water conductivity; the gray dotted line shows the averaged values of the studied characteristics of outflows and rivers waters in 2005, the remaining lines and signatures show the values of the studied features in 2018 and correspond to those in fig. 1.

Source: author's own elaboration.

Jej wartości w roku wilgotnym wahały się od 70 do 250 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Najwyższa przewodność charakteryzowała wody w dolnym biegu rzeki, co wynika ze stopniowego wzrostu udziału zasilania ciekę wodami podziemnymi (w sposób nieskoncentrowany) oraz znacznie dłuższy czas i większą głębokość krążenia wód podziemnych zasilających ciek w dnach dolin niż na stokach. Przewodnictwo elektrolityczne wody w roku suchym było znacznie mniej zróżnicowane we wszystkich badanych potokach. W przypadku obiektów krenologicznych, największe wartości konduktywności (170–190 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) odnotowano dla wód źródeł szczelinowych dających początek Bystrzycy Dusznickiej, w wyniku długiego kontaktu tych wód ze środowiskiem skalnym.

Profil podłużny Czerwonego Potoku przybiera nieco wypukły kształt z uwagi na odwadnianie rozległego torfowiska, położonego w obrębie zrównania paleogeńsko-neogeńskiego w wododziałowej części zlewni (ryc. 8). W zlewni tej w badanych latach oprócz źródeł i wycieków liniowych występowały również licznie młaki (ryc. 8A). Większość źródeł charakteryzowała wydajność rzędu 0,01–0,1 $\text{dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$. W przypadku temperatury wody zauważono znaczne wahania jej wartości zarówno w roku suchym, jak i wilgotnym (ryc. 8B). Nie zaobserwowano żadnych tendencji liniowych wraz z biegiem potoków, a zakres zmienności temperatury wód był większy niż w źródłowym odcinku Bystrzycy Dusznickiej.



Ryc. 8. Zmienność parametrów fizyczno-chemicznych wody w roku wilgotnym (2005) i suchym (2018) wzdłuż Czerwonego Potoku. Ozn., jak na rys. 7

Źródło: opracowanie własne.

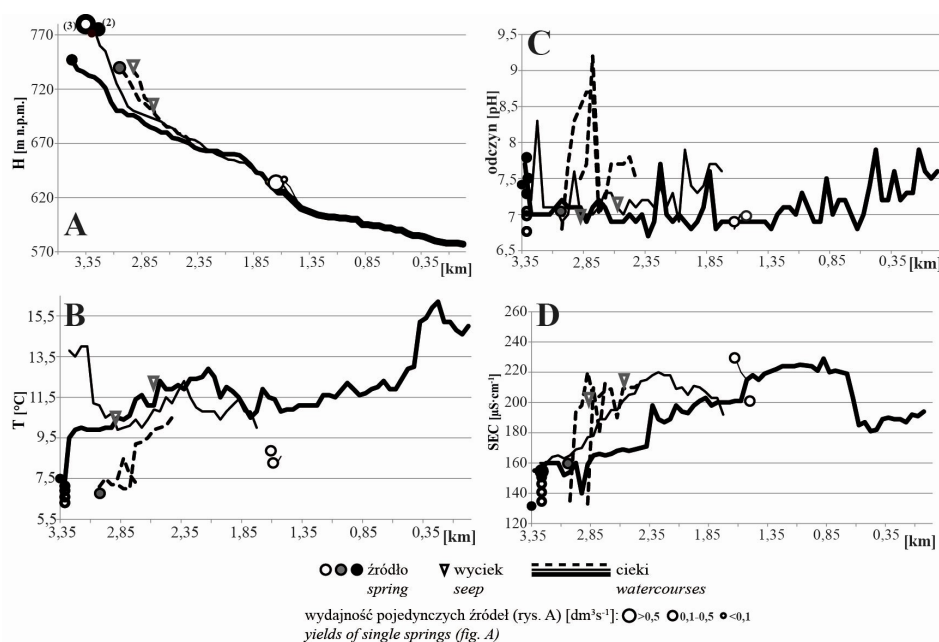
Fig. 8. Variability of physicochemical parameters of water in a wet (2005) and dry year (2018) along the Czerwony Potok river. See fig. 7 for explanations of symbols.

Source: author's own elaboration.

Wpłynęła na to duża różnorodność typów wypływów. W zlewni tej, ciek biorą swój początek zarówno w młakach, wyciekach liniowych, jak i źródłach, zarówno tych chłodniejszych szczelinowych, jak i cieplejszych na skutek tranzytu wód ze szczelin poprzez pokrywy zwierzelinowe. Średnie wartości temperatury wód w tej zlewni były bardzo podobne i wynosiły nieco ponad 11°C, co świadczy o dużym wpływie typu wypływu, czy też temperatury powietrza na temperaturę wody (pomiary w ciepłej porze roku), a nie samych opadów. Zaobserwowano jednak wzrost odczynu z biegiem rzeki zarówno w roku 2005, jak i 2018 (ryc. 8C). W analizowanych latach wahał się on od silnie kwaśnego do

lekkie zasadowego. W górnych biegach cieków odczyn spadał poniżej 4,5, na co wpłynęła obecność kwasów humusowych, powstałych na skutek rozkładu materii organicznej, co jest charakterystyczne dla obszarów torfowisk (Burchard 1990). Podobieństwo przebiegu wartości pH w latach o różnym stopniu uwilgotnienia świadczy o większym znaczeniu warunków lokalnych niż hydrometeorologicznych w kształtowaniu odczynu wody. Przewodność elektrolityczna właściwa wykazuje również podobny przebieg, jednak jej wyższe wartości cechują wody w roku wilgotnym (ryc. 8D), na skutek wymywania związków mineralnych przez wody spływające po stokach i trafiające następnie do cieków. Niemal dwukrotny wzrost rocznej sumy opadów generuje w tej zlewni równie wysoki wzrost mineralizacji. Sumy opadów z 3 miesięcy przed wykonaniem pomiarów wynosiły 490,3 mm w roku wilgotnym oraz 183,1 mm w roku suchym, z kolei średnia przewodność elektrolityczna właściwa była równa $85,6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (2005) oraz $45,4 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (2018). W obu przypadkach można zaobserwować nagły wzrost tej charakterystyki w środkowym biegu rzeki, co spowodowane jest najprawdopodobniej wypływem silnie zmineralizowanych wód w tej części zlewni (Bartnik, 2007).

W zlewni Podgórznej, badania przestrzennej zmienności parametrów fizyczno-chemicznych wody były prowadzone tylko w roku 2018 (ryc. 9). Wydajności źródeł w zlewni układały się w szerokim zakresie od ponad $0,5 \text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$ do poniżej $0,1 \text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$ (ryc. 9A). Zaobserwowano tu wyraźny wzrost temperatury i przewodnictwa elektrolitycznego wody z biegiem rzeki (ryc. 9B i D). Najniższą temperaturą charakteryzowały się wody szczelinowe wypływające ze źródeł w górnym biegu rzeki.



Ryc. 9. Zmienność parametrów fizyczno-chemicznych wody w roku suchym (2018) wzdłuż Podgórznej Ozn., jak na rys. 7

Źródło: opracowanie własne

Fig. 9. Variability of physicochemical parameters of water in a dry year (2018) along the Podgórzna river See fig. 7 for explanations of symbols.

Source: author's own elaboration

W dolnym biegu cieków temperatura wody osiągała wysokie wartości (ponad $15,5^{\circ}\text{C}$). Wpłynęły na to warunki meteorologiczne – woda ogrzewa się w ciągu dnia, stąd jej temperatura zbliżona jest do temperatury powietrza. Ponadto, obserwuje się coraz większą presję człowieka na właściwości wody, gdyż w tej części zlewni występuje coraz większa koncentracja zabudowy jednorodzinnej, jak i bezpośrednie sąsiedztwo terenów rekreacyjnych. Podobny wzrost zaobserwowano w przypadku przewodności elektrolitycznej właściwej na odcinku od 0,6 do 1,5 km. W tym miejscu zlokalizowano na Podgórznej płytce staw przepływowy, w którym osadzają się związki mineralne dostarczane wraz

z wodami spływającymi z sąsiednich stoków. Ponadto, obserwowany jest wspomniany już wzrost udziału zasilania wodami podziemnymi wraz z biegiem rzeki. W przypadku odczynu zaobserwowano jego nieznaczne wahania – od niespełna pH 7 do ponad pH 9 (ryc. 9C). Wzrost odczynu wody wraz z biegiem Podgórznej spowodowany był wzrostem jej temperatury na skutek coraz mniejszego spadku oraz poszerzającego się koryta rzeki w jej środkowym i dolnym biegu. Wahania odczynu wynikały również z występujących w zlewni Podgórznej mokradeł, jak i bujnej roślinności zarastającej koryta (rozkład materii organicznej powoduje spadek odczynu). Ponadto, wzrost przewodności i odczynu wody w zlewni Podgórznej mogą wynikać z oddziaływania zanieczyszczeń związanych ze wzrostem urbanizacji wraz z biegiem rzeki.

PODSUMOWANIE

Badania zróźnicowania przestrzennego i zmienności wybranych cech wypływów wód podziemnych w zlewni górnej Bystrzycy Dusznickiej umożliwiły identyfikację i waloryzację czynników, które je determinują w latach suchych i wilgotnych. Znacznie większa wydajność źródeł charakteryzuje rok wilgotny, co związane jest z istotnym udziałem wód opadowych w zasilaniu zbiorników wód podziemnych tego obszaru. Wody opadowe krążą systemem drożnych szczelin skalnych powstałych na skutek spękań wywołanych przeobrażeniami tektonicznymi i wietrzeniowymi. Wody te bezpośrednio ze szczelin bądź na drodze tranzytu poprzez pokrywy zwietrzelinowe zasilają źródła.

Podczas analizy zmienności pionowej cech wypływów zaobserwowano znaczący wpływ opadów atmosferycznych, głównie na wydajność źródeł. Największe oddziaływanie warunków meteorologicznych na tę cechę wypływów zaobserwowano na grzbietach górskich, gdzie jednocześnie obserwuje się największe przeciętne sumy opadów. W niektórych strefach wysokościowych, nad warunkami meteorologicznymi dominowały czynniki lokalne, związane z dużą zdolnością retencyjną zbiorników wód podziemnych, głównie na terenach zabagnionych. Innym ważnym czynnikiem lokalnym determinującym cechy wypływów, m.in. ich wydajność i temperaturę w badanej zlewni jest typ wypływu. Największą wydajnością charakteryzują się wspomniane wcześniej źródła szczelinowe, a nieco mniejszą źródła szczelinowo-rumoszowe i rumoszowe. Typ wypływu jest również przyczyną znacznej zmienności temperatury wód w strefie występowania zrównań paleogeńsko-neogeńskich, gdzie oprócz wymienionych wyżej chłodnych źródeł szczelinowych i cieplejszych rumoszowych występują również młaki i wycieki liniowe charakteryzujące się wyższą temperaturą wód, na skutek dłuższego jej przebywania przy powierzchni terenu. Ponadto, obserwuje się większą zmienność tej cechy wypływów w roku wilgotnym, co związane jest z mieszaniem się wód opadowych w strefie bezpośredniego zasilania źródła z wodami podziemnymi.

W strukturze przestrzennej zaobserwowano istotne zróźnicowanie parametrów fizyczno-chemicznych wypływów wód podziemnych i cieków, zarówno w roku suchym, jak i wilgotnym. Opady atmosferyczne modyfikują tylko część cech badanych wód, natomiast pozostałe z nich uzależnione są od warunków lokalnych obszaru. Zaliczyć do nich można warunki hydrogeologiczne, jak na przykład zasilanie potoków chłodnymi wodami szczelinowymi. Duże zróźnicowanie parametrów fizyczno-chemicznych wody wynika także z występowania różnych typów wypływów (o różnych właściwościach wód) dających początek badanym potokom. Do równie ważnych zaliczyć należy czynniki antropogeniczne, związane z dopływem zanieczyszczeń w miejscach większej koncentracji zabudowy, sąsiedztwa terenów rekreacyjnych, czy obecności stawu przepływowego na cieku (wzrost odczynu i przewodności elektrolitycznej właściwej). Ponadto, zaobserwowano różnice wartości niektórych parametrów wód w zależności od typu pokrycia terenu, np. spadek odczynu na terenach zabagnionych czy porośniętych lasami świerkowymi, wzrost temperatury potoków odwadniających rozległe stoki Zieleńca. Opady atmosferyczne potęgowały zmiany analizowanych parametrów fizyczno-chemicznych wody między innymi poprzez mieszanie się w strefie bezpośredniego zasilania źródeł z wodami podziemnymi, powodując np. większą zmienność wydajności czy temperatury.

Literatura

- Barczyk G., 2008, *Tatrzańskie wywierzyska. Krasowe systemy wywierzyskowe Tatr Polskich*, Tatrzański Park Narodowy, Zakopane
- Bartnik A., 2007, *Hydrochemiczne i hydrobiologiczne badania źródeł*, [w:] Jokiel P., Moniewski P., Ziułkiewicz M. (red.), *Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne*, Wydawnictwo Regina Polaniae, Częstochowa, 181–191
- Bartnik A., Tomaszewski E., 1998, Źródła w wybranych zlewniach Kotliny Kłodzkiej, *Czasopismo Geograficzne*, 69, 3–4, Warszawa: 323–337
- Bartnik A., Walisch M., 1997, Źródła zlewni Bystrzycy Dusznickiej, *Acta Universitatis Lodziensis, Folia Geographica Phisica*, 2, Łódź, 61–72
- Bense V.F., Gleeson T., Loveless S.E., Bour O., Scibek J., 2013, Fault zone hydrogeology, *Earth-Science Reviews*, 127, 171–192
- Buczyński S., Staśko S., Modelska M., Olichwer T., Tarka R., 2011, Charakterystyka krenologiczna masywów górskich Ziemi Kłodzkiej na podstawie bazy danych „Źródło”, *Biuletyn PIG*, 445, 12/1, 17–26
- Buczyński S., Rzonca B., 2011, Effects of crystalline massif tectonics on groundwater origin nad catchment size of a large spring area in Zieleniec, Sudety Mountains, southwestern Poland, *Hydrogeology Journal*, 19, 1085–1101
- Buczyński S., 2018, Temporal variability of springs in catchment areas located in the Sudeten Mountains, *Hydrology Research*, 49, 3, 780–793
- Burchard J., 1990, *Antropogeniczne zmiany jakości wód podziemnych pierwszego poziomu, użytkowanych przez ludność wsi w wybranych rejonach Polski środkowej*, [w:] Mazurkiewicz J., Wróbel A. (red.), *Prze-strzenne problemy zdrowotności*, Conference papers 9, Institute of Geography and Spatial Organization Polish Academy of Sciences, Warszawa, 87–105
- Chelmiński W., Jokiel P., Michalczyk Z., Moniewski P., 2011, Distribution, discharge and regional characteristics of springs in Poland, *Episodes* 34, 4, 244–256
- Corsini A., Cervi F., Ronchetti F., 2009, Weight of evidence and artificial neural network for potential groundwater spring mapping: an application to the Mt. Modino (Northern Apennines, Italy), *Geomorphology*, 111, 79–87
- Cymerman Z., 1990, Młodoalpejskie nasunięcie Zieleńca w Górach Orlickich (Sudety), *Przegląd Geologiczny*, 38, 10, Warszawa, 422–428
- Cymerman Z., 1992, *Objaśnienia do szczegółowej mapy geologicznej Sudetów 1:25000*, Arkusz Duszniki Zdrój, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, 1–72
- Cymerman Z., 1999, Alpejska transpresja w Sudetach, *Przegląd Geologiczny*, 47, 10, Warszawa, 942–945
- Dynowska I., 1971, Typy reżimów rzecznych w Polsce, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego, Prace Geograficzne*, 28
- Frąckiewicz W., Teisseyre H., 1977, *Objaśnienia do szczegółowej mapy geologicznej Sudetów 1:25000*. Arkusz Międzygórze, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa
- Jetel J., 1985, Vertical variations in permeability of flysch rock in the Czechoslovak Carpathians, *Geological Quarterly*, 24, 3, 167–178
- Jokiel P., 1994, Zasoby, odpływ i odnawialność wód podziemnych strefy aktywnej wymiany w Polsce, *Acta Geographica Lodziensis*, 66–67, Wyd. ŁTN, Łódź
- Kaszycki P. (red.), 2004, *Objaśnienia do mapy geośrodowiskowej Polski 1:50 000*, Arkusze Kudowa Zdrój (899) i Duszniki Zdrój (900), PIG, Warszawa, 1–47
- Macior E., Rzonca B., Siwek J., Plenzler J., Płaczowska E., Dębek N., Jaśkowiec B., Potoniec P., Roman S., Zdziebko D., 2015, Determinants of the distribution of springs in upper part of flysch ridge in the Bieszczady Mountains in the southeastern Poland, *Episodes*, 38, 1, 21–30
- Manga M., 2001, Using springs to study groundwater flow and active geologic processes, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 29, 201–228
- Mazurek M., 2007, *Chemizm wypływu wód podziemnych w dorzeczu Parsęty (Pomorze Zachodnie)* [w:] Jokiel P., Moniewski P., Ziułkiewicz M. (red.), *Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne*, Wydawnictwo Regina Polaniae, Częstochowa, 242–252
- Moniewski P., Siwek J., 2017, *Źródła i inne wypływy wód podziemnych* [w:] Jokiel P., Marszelewski W., Pociask-Karteczka J. (red.), *Hydrologia Polski*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 89–96
- Olichwer T., 2001, Możliwości ujęcia wód powierzchniowych w Górach Bystrzyckich, *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, t. I, Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław

- Olichwer T., 2007, Zasoby wód podziemnych Ziemi Kłodzkiej, *Acta Universitatis Wratislaviensis. Hydrogeologia*, 3022
- Staško S., 2002, Zawodnienie szczelinowych skał krystalicznych w Sudetach, *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 404, 249–262
- Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów 1:25000, ark. Duszniki Zdrój*, 1992, PIG, Warszawa
- Tarka R., 1997, Zasilanie wód podziemnych w górskich masywach krystalicznych na przykładzie Masywu Śnieżnika w Sudetach, *Prace Mineralogiczno-Geologiczne*, LVI, Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław
- Tarka R., 2003, Własności hydrogeologiczne utworów kredy w Sudetach na podstawie badań laboratoryjnych, *Współczesne problemy hydrogeologii*, XI, T. 1, Wydawnictwo Politechnika Gdańska, Gdańsk
- Woś A., 1995, *Zarys klimatu Polski*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań
- Zuber A., Weise S., Osenbrück K., Grabczak J., Ciężkowski W., 1995, Age and recharge area of thermal waters i Łądek Spa (Sudetes, Poland) deduced from environmental isotope and noble gas data, *Journal of Hydrology*, 167
- Żelaźniewicz A., 2015, *Przeszłość geologiczna* [w:] Żelaźniewicz A. (red.), *Przyroda Dolnego Śląska*, Wydanie II, Polska Akademia Nauk, Oddział we Wrocławiu