

ISBN 978-83-87830-62-5

ŹRÓDŁA POLSKI WYBRANE PROBLEMY KRENOLOGICZNE

ŹRÓDŁA POLSKI
WYBRANE PROBLEMY KRENOLOGICZNE

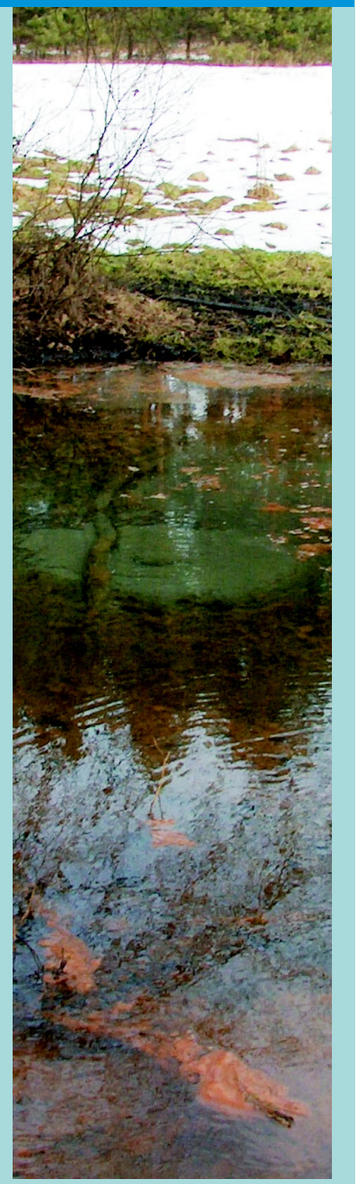
Pod redakcją

Pawła Jokiela

Piotra Moniewskiego

Macieja Ziułkiewicza

Łódź 2007





















Z karafki napić się można,
uścisnąwszy ją za szyję
i pochyliwszy ku ustom,
ale kto ze źródła pije
musi uklęknąć i pochylić czoło.

(Cyprian Kamil Norwid)

WYDZIAŁ NAUK GEOGRAFICZNYCH
UNIWERSYTETU ŁÓDZKIEGO

Źródła Polski

Wybrane problemy krenologiczne

Pod redakcją:

Pawła Jokiela
Piotra Moniewskiego
Macieja Ziułkiewicza

ŁÓDŹ 2007

Recenzent: **Wojciech Chełmicki**

Projekt okładki:

Maciej Ziułkiewicz

Fotografie na okładce:

Paweł Jokiel
Maciej Ziułkiewicz

Wydano z pomocą finansową:

Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Łodzi
i
Uniwersytetu Łódzkiego

Copyright © 2007 by Wydział Nauk Geograficznych Uniwersytetu Łódzkiego

Wydawca:
Regina Poloniae, Częstochowa

Druk:
Regina Poloniae, Częstochowa

Nakład:
300 egz.

ISBN 978-83-87830-62-5

SPIS TREŚCI

1. ŹRÓDŁA – WODNE PEREŁKI NA GRANICY *TERRY* I *HADESU* (Paweł Jokiel).....5

2. ZAGADNIENIA TERMINOLOGICZNE I WSPÓŁCZESNE KIERUNKI BADAŃ KRENOLOGICZNYCH 12
2.1. Podstawowe pojęcia, typologie i klasyfikacje współczesnej krenologii (Piotr Moniewski).....12
2.2. Wybrane problemy polskiej terminologii krenologicznej (Krzysztof Puk) 26
2.3. Źródła w badaniach geograficznych (Zdzisław Michalczyk) 35
2.4. Źródła w hydrogeologii; ich znaczenie, metodyka badań i wykorzystanie wyników (Stanisław Staśko).....43
2.5. Fauna źródeł – stan poznania i perspektywy badań (Stanisław Czachorowski).....49
2.6. Flora źródlisk – skład i gatunki wskaźnikowe (Leszek Kucharski).....55
2.7. Antropogeniczne wypływy wód podziemnych – charakterystyka hydrograficzna ..... (Tadeusz Molenda) 61
2.8. Baza danych o źródłach na Wyżynie Śląskiej i Małopolskiej – uwagi metodyczne (Janusz Siwek).....67

3. HYDROLOGICZNE I HYDROGEOLOGICZNE BADANIA ŹRÓDEŁ 72
3.1. Reżim hydrogeologiczny źródeł pienińskich na przykładzie źródła Balarówka w Tylce (Włodzimierz Humnicki).....72
3.2. Model krążenia wód podziemnych w zlewni o złożonej budowie geologicznej w Sudetach (Sebastian Buczyński, Bartłomiej Rzonca, Alicja Łapinkiewicz) 81
3.3. Znaczenie badań chemizmu wód niecki krzeszowskiej i jej obrzeżenia (Sudety Środkowe) dla rozpoznania lokalnego systemu krążenia wód podziemnych (Marcin Stępień).....88
3.4. Charakterystyka hydrologiczna i termika wybranych źródeł w zlewni Białki Lelowskiej (Damian Absalon).....95
3.5. Wypływy wód podziemnych u podnóży krawędzi pradolinnych (Joanna Fac-Beneda, Ewa Hryniszak).....105
3.6. Próba wydzielenia podtypów wypływów wód podziemnych na klifie bałtyckim w Wolińskim Parku Narodowym (Wojciech Wawrzyniak).....110
3.7. Alimentacja wód źródlanych i ich rola w strukturze odpływu małej zlewni nizinnej (Przemysław Tomalski, Edmund Tomaszewski).....115
3.8. Zasilanie źródłowe małych zlewni regionu łódzkiego na tle przepuszczalności utworów powierzchniowych (Marek Walisch).....122

3.9. Kilka uwag o zastosowaniu metody źródeł reprezentatywnych do oceny wielkości oceny zasilania podziemnego rzeki (Edmund Tomaszewski) 131
3.10. Problemy z ustaleniem przebiegu głównego cieku (na przykładzie Nysy Kłodzkiej) (Sebastian Buczyński) 137

4. HYDROCHEMICZNE I HYDROBIOLOGICZNE BADANIA ŹRÓDEŁ 145
4.1. Zróżnicowanie przestrzenne wybranych cech fizykochemicznych wód źródeł zlewni Bystrzycy Dusznickiej (Adam Bartnik) 145
4.2. Zmienność chemizmu wód źródeł w zależności od wybranych czynników przyrodniczych na przykładzie zlewni Ożarskiego Potoku i Mąkolnicy (Sudety Środkowe i Wschodnie) (Marcin Stępień) 152
4.3. Chemizm i jakość wód wybranych źródeł w zlewni Białki Lelowskiej (Magdalena Matysik) 159
4.4. Podstawowe właściwości fizykochemiczne wód w niszy źródliskowej Rosanów I (Małgorzata Stolarska, Piotr Moniewski) 168
4.5. Zróżnicowanie hydrochemiczne wód podziemnych w niszy źródliskowej w Ciosnach (Maciej Ziułkiewicz) 177
4.6. Charakterystyka jakości wody naturalnych wypływów wód podziemnych Białegostoku (Elżbieta Jekatierynczuk-Rudczyk) 183
4.7. Chemizm wypływów wód podziemnych w dorzeczu Parsęty (Pomorze Zachodnie) (Małgorzata Mazurek) 190
4.8. Wpływ wód źródlanych na zróżnicowanie roślinności przełomów rzecznych strefy krawędziowej Roztocza Tomaszowskiego (Bożena Czarnecka, Bronisław Janiec) 200
4.9. Okrzemki bentosowe źródła Dobieszków na tle warunków siedliskowych (Joanna Żelazna-Wieczorek, Maciej Ziułkiewicz) 211

5. ZAGROŻENIA I OCHRONA ŹRÓDEŁ 222
5.1. Wpływ antropopresji na warunki hydrologiczno-hydrochemiczne źródeł (Andrzej T. Jankowski, Tadeusz Molenda) 222
5.2. Fascynujące źródła karpackie (Lucyna Rajchel) 225
5.3. Znaczenie badań naturalnych wypływów wód podziemnych w rozpoznaniu warunków hydrogeologicznych górskich obszarów chronionych na przykładzie Pienin (Włodzimierz Humnicki) 232
5.4. Ocena wpływu obszarowych ognisk zanieczyszczeń na jakość wód podziemnych na podstawie obserwacji w źródłach (Anna Żurek) 240
5.5. Charakterystyka hydrologiczna wywierzyska w Strzemieszycach Wielkich na Wyżynie Śląskiej oraz propozycja ochrony jego wód (Wojciech Smolarek) 248
5.6. Konserwatorska ochrona źródeł w Polsce (Maria Baścik, Jan Urban) 253

6. Bibliografia .....

Paweł Jokiel
Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej, Uniwersytet Łódzki
90-139 Łódź, ul. Narutowicza 88, joker@geo.uni.lodz.pl

1. ŹRÓDŁA – WODNE PEREŁKI NA GRANICY *TERRY* I *HADESU*

Źródłem nazywamy jedną z form naturalnego wypływu wód podziemnych na powierzchnię terenu. Jest ono zatem najbardziej spektakularnym przejawem i jednocześnie dowodem krążenia wody w przyrodzie. Specyfika umiejscowienia źródła w cyklu obiegu wody sprawia, że pełni ono rolę swoistego łącznika między podziemnym i powierzchniowym ogniwem krążenia wody przy czym, samym swym istnieniem dowodzi bardziej jedności obu tych ogniw, niż ich odrębności.

Dla hydrologa i geografa, źródło jest miejscem, w którym rozpoczyna się rzeka. Odnajdywanie źródeł rzek, zwłaszcza tych, które odgrywały istotną rolę w rozwoju cywilizacji należało do kanonu zadań, które stawiano przed odkrywcami i podróżnikami nie tylko w przeszłości, ale i współcześnie. Dość wspomnieć o poszukiwaniach źródeł: Nilu, Konga, Amazonki, Wołgi, czy Dunaju. Wiele z tych wypraw, choć nie zawsze kończyło się powodzeniem i jednoznacznym ustaleniem miejsca wypływu rzeki, to prawie zawsze prowadziło do odkrywania nowych miejsc i poszerzania wiedzy geograficznej. Jeszcze dziś toczą się wśród geografów spory na temat położenia źródeł niektórych rzek, wzbogacając tym samym współczesny wątek eksploracyjny w badaniach geograficznych. Także dla możnych i władców starożytnego, ale i współczesnego Świata, obecność na ich terytorium źródła „ważnej" rzeki było atrybutem podnoszącym rangę państwa, czy regionu.

Równocześnie dla geologa i hydrogeologa, źródło jest swoistym odsłonięciem wód podziemnych. Taką „dziurką od klucza", która pozwala zajrzeć do podziemnego systemu krążenia wody, rozpoznać go i przygotować do eksploatacji. Jest prawie pewne, iż pierwsze ujęcia wód podziemnych (studnie) powstały wskutek pogłębiania i poszerzania (zapewne w okresach suszy) nisz źródłowych i miejsc wysączania się wody. Także pierwszy, duży akwedukt rzymski, sławna

„*Apia*", zasilany był wodą pochodzącą ze źródeł. Również wiele innych, wcześniejszych i późniejszych, tego typu urządzeń komunalnych wykorzystywało wody źródlane, sprowadzane nierzadko z odległości 100 i więcej kilometrów. Dość tu wymienić akwedukty i wodociągi starożytnych Aten, Segowii, czy Starego Baru w Czarnogórze.

Wykorzystywano również źródła podmorskie. Jedną z najbardziej strzeżonych tajemnic piratów i korsarzy karaibskich była informacja o miejscu występowania, na maleńkich wyspach, równie małych zatoczek z wodą morską silnie wysłodzoną przez podmorskie źródła. Można tam było bowiem, w tajemnicy, uzupełnić zapasy wody słodkiej. Warto w tym miejscu wskazać, iż największe źródło (źródlisko) na Ziemi jest właśnie wypływem podmorskim (*vrulje*) bijącym na Karaibach. Z głębokości ok. 250 m p.p.m. i w odległości ok. 1 km od wybrzeża Jamajki, poprzez rozbudowaną w poziomie galerię wypływów, do morza wlewa się ok. 43 $m^3 \cdot s^{-1}$ wody słodkiej.

Człowiek bardzo chętnie sięgał po wodę ze źródeł. Była ona bowiem stosunkowo łatwo dostępna i jednocześnie miała niemal gwarantowaną naturalną czystość. Pojęcie „woda źródlana" jest do dzisiejszego dnia, w wielu językach świata, synonimem absolutnej czystości i świeżości. Jednocześnie jednak, wody źródlane, wskutek stosunkowo długiego przebywania w środowisku skalnym rozpuszczają i wyprowadzają na zewnątrz szereg zawartych w nim związków chemicznych. Woda źródlana zawsze zawiera pewną ilość rozpuszczonych substancji, przy czym, ich podwyższone stężenie lub specyficzny skład mogą świadczyć o tym, że mamy do czynienia, albo ze źródłem mineralnym, albo z wypływem zanieczyszczonych wód podziemnych. Mineralizacja owa może więc mieć zarówno charakter naturalny, jak też wiązać się z antropogeniczną degradacją zbiorowiska wód podziemnych lub jego otoczenia.

W wodzie źródlanej mogą być rozpuszczone różnego rodzaju gazy; od powszechnie spotykanych: dwutlenku węgla i azotu, przez siarkowodór i metan, po niezwykle rzadkie przypadki, kiedy „szlachetne" źródła wyprowadzają mieszaninę wody i helu (Carnot de Santenay we Francji – 15 m^3 czystego helu rocznie). Zdarza się, że ciśnienie tych gazów w złożu wody podziemnej jest okresowo na tyle duże, że powstają swoiste gejzery napędzane np. dwutlenkiem węgla. Przykładem jest gejzer w Herlanach na Słowacji, który co kilkadziesiąt godzin wyrzuca, na wysokość kilkunastu metrów, kilka tysięcy litrów mieszaniny wody i gazu.

Źródła wyprowadzające wody termalne (cieplice) występują na świecie dość często, choć oczywiście nie tak często jak źródła zwykłe. Obecność tego rodzaju wypływów wiąże się zwykle ze strefami głębokich dyslokacji tektonicznych, obszarami młodego wulkanizmu, rzadziej z niskim stopniem geotermicznym.

W skrajnych przypadkach temperatura wody w takich źródłach może sięgać 100ºC – Wyspy Liparyjskie. Niemal równie gorące są źródła Hamman w Algierii (95ºC) oraz wypływy w północnych Włoszech (Albano, Pisciarelli – 84ºC), w Kanadzie (Rabbitkattle – 70ºC) i w USA (Thermopolis – Wyoming). Tylko w Japonii zidentyfikowano ponad 12 tys. źródeł termalnych. Woda z naturalnych, gorących źródeł była wykorzystywana od najdawniejszych czasów. Rzymianie i Japończycy, już ponad 1000 lat temu używali wód termalnych do kąpieli rekreacyjnych, leczniczych, a także do przyrządzania posiłków. Na początku XX wieku pojawiły się też pomysły wykorzystania ich do wytwarzania energii elektrycznej. Pierwszą taką próbę podjęto we Włoszech w 1904 roku – Caradello. W 1913 roku wybudowano tam pierwszą siłownię o mocy 250 kW, która w końcu lat 40. osiągnęła moc 130 MW. Drugi tego typu obiekt powstał znacznie później i na dodatek na antypodach. W Wairakei na Nowej Zelandii, w 1955 roku, zbudowano elektrownię o mocy 47 MW. Dziś takich siłowni są już setki.

Specyficznym typem źródeł termalnych są gejzery. Wyrzucają one stale lub w sposób mniej lub bardziej regularny przegrzaną wodę, a często i parę wodną. Ta forma wypływu wód podziemnych, choć opisana została już ponad 300 lat temu, to nadal wzbudza zainteresowanie i zachwyt ludzi. Wydajność gejzerów jest zróżnicowana. Przeciętny wydatek, jako średnia z fazy spokoju i fazy erupcji, może wynosić od 0,1 do ponad 100 $dm^3 \cdot s^{-1}$. Wysokość słupa wyrzucanej wody jest jeszcze bardziej zmienna: od kilku centymetrów do 160 m (współcześnie tylko do 65 m). W 1904 roku jeden z gejzerów Nowej Zelandii – Waimangu, wyrzucał średnio ponad 800 m^3 mieszaniny wody, szlamu i kamieni. Wysokość jego niektórych erupcji dochodziła nawet do 160 m. Obecnie aktywność tego gejzeru wyraźnie zmalała wskutek sztucznego obniżenia zwierciadła wody w sąsiadującym z nim jeziorze Tarawera (zwierciadło opadło prawie o 11 m). Podobny los spotkał „ojca" wszystkich gejzerów – islandzki Wielki Gejzer. Jego aktywność, głównie wskutek działalności człowieka (wykorzystanie energii geotermalnej w dolinie Haukadalur), bardzo zmalała i jeszcze niedawno istniała obawa, że istniejący ponad 10 000 lat staruszek „zamarł" na zawsze.

Źródła były zawsze obiektami owianymi swego rodzaju tajemnicą, zaś pytanie o pochodzenie wydobywającej się z nich wody było zawsze żywe i przyczyniało się zarówno do rozwoju nauk przyrodniczych, jak i powstawania wielu legend i fantastycznych teorii. Wodzie tryskającej ze źródeł przypisywano często właściwości lecznicze i kultowe (Massbielle w Lourdes, Boża Góra w Poczajowie, Manitou Springs w Kolorado, Maggie Springs w Ayers Rock, Kastalia w Delfach, Kalwaria w Wambierzycach). Cudowne i święte źródła były dawniej i są nadal miejscami, obrzędów i pielgrzymek w większości religii Świata (źródła Narbady, Zamzam w Mekce, Gomuhk – źródło Gangesu, Grabarka), a wiele

z nich stało się zalążkami współczesnych uzdrowisk i kąpielisk – potwierdzając tym samym „cudowne" właściwości bijących tam wód źródlanych (Bath, Baden Baden, Bormio, Cieplice).

Znajomość rozmieszczenia, charakteru i wydajności źródeł była zawsze i jest nadal, jedną z ważniejszych przesłanek pomagających rozpoznać warunki hydrologiczne i hydrogeologiczne obszaru. Już sama obecność źródeł była do niedawna najważniejszym wskaźnikiem świadczącym o dużej zasobności wodnej obszaru, a i dziś odgrywa istotną rolę przy jej ocenie. Znajomość wydatku źródła i jego dynamiki pozwala dość dokładnie ocenić dynamiczne zasoby wodne drenowanej przez wypływ struktury wodonośnej, tempo wymiany tych zasobów oraz jej parametry hydrogeologiczne. Dla przykładu: oszacowane w oparciu o wydatek 4 źródeł, przeciętne zasoby wodne, położonego na północ od Łodzi, sandru grotnicko-lućmierskiego wynoszą $1{,}8 \cdot 10^6$ m^3 (183 mm), a średni czas ich odnowienia – ok. 1,5 roku. Wodą pochodzącą tylko z jednego z tych źródeł (Rosanów) można zabezpieczyć potrzeby wodne niemal połowy mieszkańców 60-tysięcznego Zgierza.

Prawdopodobnie najwydajniejszym źródłem na lądzie jest wywierzysko Ra's-al-Ayn (Główne Źródło) w Syrii. Z 13 pojedynczych wypływów, rozmieszczonych na obszarze kilku kilometrów kwadratowych, bije tam średnio 38,7 $m^3 \cdot s^{-1}$ wody. Wodonoścem są eoceńskie wapienie, silnie uszczelinione i wchodzące w skład niewielkiej struktury o charakterze artezyjskim. Poszczególne wypływy pojawiają się wzdłuż dwóch linii zaburzeń tektonicznych, a ich charakter wskazuje, iż należą one do źródeł uskokowych. O palmę pierwszeństwa rywalizuje z nim włoska La Stella w Alpach Julijskich o wydatku średnim sięgającym 37 $m^3 \cdot s^{-1}$ i Malad Springs w Idaho – 35,4 $m^3 \cdot s^{-1}$. Tego rodzaju źródła, znajdujące się w I, czy II klasie klasyfikacji Meinzera, są na Ziemi rzadkością, ale przecież nie wyjątkiem. Niektóre są od dawna i systematycznie obserwowane (np. Vaucluse Quelle, Mammoth Hot Springs, Big Springs, Peschiera, Lodowe Źródło), wiele ujęto i od wielu lat woda z nich wykorzystywana jest przez człowieka (np. Źródło Petrovy, źródło podmorskie Port – Miou), a jeszcze inne objęto prawną ochroną – tworząc rezerwaty, czy pomniki przyrody (np. Silver Springs, Pamukkale, Hamman Meskoutine). Warto jednak podkreślić, że hydrologiczna, przyrodnicza, czy krajobrazowa rola źródeł nie jest funkcją ich wielkości, ani wydatku (np. Źródło Aretuzy, źródło Dunaju, źródło Jordanu, Niebieskie Źródła). Wartość ekologiczna mniejszych wypływów, czy też ich walory dydaktyczne i środowiskowe są przeważnie równie wysokie, jak tych spektakularnych „światowych olbrzymów".

Znajomość stosunków krenologicznych w Polsce trudno dziś uznać za zadowalającą mimo, że kraj nasz charakteryzuje się jednym z najniższych w Europie wskaźników uźródłowienia, a bijące u nas źródła są małe i tylko wyjątkowo

osiągają wydatki pozwalające je zaliczyć do III klasy w klasyfikacji Meinzera. Niedostateczny jest nie tylko stan zinwentaryzowania źródeł w poszczególnych regionach i w skali kraju, lecz również, a może przede wszystkim, stopień rozpoznania ich reżimu wydajności i jego powiązań z charakterem i zasobnością drenowanych poziomów wodonośnych. Jeszcze gorzej przedstawia się stan wiedzy na temat składu chemicznego wód źródlanych. Dotyczy to nie tylko problemu tła hydrogeochemicznego, ale również zagadnienia jego zmian w czasie pojedynczego cyklu wymiany wody, w drenowanym przez źródło zbiorniku wód podziemnych i przemian związanych z antropopresją.

Wbrew pozorom niewiele również wiemy o zjawisku zanikania źródeł i ich „wędrówki". Opinie są tutaj co prawda, dość jednoznaczne: proces wysychania źródeł i obniżania ich rzędnej jest w Polsce faktem i postępuje w coraz szybszym tempie, dotykając już nie tylko terenów zurbanizowanych, ale również obszarów quasi-naturalnego krajobrazu. Tyle głoszone opinie. Gdy jednak przychodzi do ich potwierdzenia przez konkretne dane, okazuje się, że wiarygodnych, rzetelnych i porównywalnych informacji na ten temat jest nadal bardzo mało. Obok procesu wysychania źródeł, pojawiło się także ostatnio, groźne w skutkach, zjawisko ich bezmyślnej dewastacji. Naturalny wygląd większości dużych źródeł i wywierzysk w Polsce został już bardzo zmieniony mimo, że wiele z nich znajduje się na terenach parków narodowych i krajobrazowych, rezerwatów, bądź też podlega innej ochronie (np. pomniki przyrody, użytki ekologiczne). Zbyt często nisze źródłowe stają się również wysypiskami odpadów, a brak odpowiednich stref ochronnych powoduje zanieczyszczenie wód źródlanych. Także „zagospodarowywanie" nisz źródłowych oraz den dolinnych z liniami wypływów, poprzez tworzenie w nich stawów hodowlanych, rekreacyjnych, czy sadzawek ogrodowych, powoduje dewastację istniejących tam wypływów wody podziemnej i unicestwienie ich biocenoz.

Źródła są niezwykle interesującymi elementami krajobrazu. Czy to w formie naturalnych nisz źródlanych, czy też wraz z towarzyszącymi urządzeniami hydrotechnicznymi lub obiektami architektonicznymi, wydatnie podnoszą atrakcyjność turystyczną krajobrazu i dostarczają wielu wrażeń estetycznych. Obudowane różnego rodzaju formami małej architektury (baseny, kapliczki, figurki, studzienki), ujęte poprzez stare, niekiedy dość skomplikowane, systemy rur (niekiedy drewnianych), murowanych kanałów, czy też zbiorniczków, stają się istnymi perełkami kultury materialnej i myśli technicznej. Nisze źródeł, nawet tych najmniejszych, są także wysoko cenionymi przez „*homo recreantusa*" oazami cienia, przyjemnych zapachów i uspakajającego szmeru płynącej wody.

Nie można też pominąć ekologicznej roli nisz źródlanych, stawów, czy też strumieni powstałych w wyniku funkcjonowania źródeł. W krajobrazie rolni-

czym, wilgotne enklawy nisz źródłowych, czy linii wypływów są oazami bioróżnorodności, podstawowymi elementami jego mozaikowości i miejscami domykania bilansów materii. W ich obrębie spotykamy zarówno rośliny hydrofilne, jak i higrofilne. Występują tam zwierzęta wodne i lądowe. Specyficzny mikroklimat obszarów źródliskowych wywołuje wyraźną odrębność tych ekosystemów, a przez to stają się one siedliskiem wielu rzadkich, a często nawet endemicznych i reliktowych roślin i zwierząt. Również w samej wodzie źródlanej, spotyka się nieraz niezwykle rzadkie okazy organizmów, nigdzie indziej nie występujących. Sprzyja temu nie tylko znaczna bezwładność termiczna wód źródlanych, ale także często ich unikalny skład chemiczny.

Przedstawiona poniżej monografia jest pokłosiem Ogólnopolskiej Konferencji poświęconej tematyce krenologicznej i zatytułowanej: *Źródła – środowiskowe aspekty badań*. Spotkanie takie już po raz drugi odbyło się w Łodzi a więc w mieście, w którym próżno by dziś szukać źródeł, ale w którego historii wody źródlane i podziemne odegrały i odgrywają nadal bardzo ważną rolę. Łódź jest przecież jednym z nielicznych, dużych miast europejskich, położonych na dziale wodnym. A gdzie, jak nie w strefie działu wodnego szukać wypada źródeł. Bez wielkiej przesady można również powiedzieć, iż miasto to, swoje powstanie i rozwój zawdzięcza w dużym stopniu, znanym już Stanisławowi Staszicowi: „*niezliczonym źródłom tryszczącym pod wyniosłem wzgórzem*". Może dlatego, a może trochę z przypadku, Łódź uhonorowała te maleńkie obiekty nazwami ulic (Źródłowa) i parków (Źródliska). To także w Łodzi, poważnie rozważano niegdyś koncepcję zasilania wodociągów miejskich ze źródeł (Niebieskie Źródła). Wreszcie, to łódzcy badacze, chyba po raz pierwszy, zwrócili uwagę, iż na nizinach środkowej Polski spotykamy nadal liczne źródła o wydatkach dorównujących wypływom górskim i wyżynnym, równie dużym znaczeniu krajobrazowym i ogromnej potrzebie ochrony przed dewastacją. W tym kontekście, uważam, iż miejsce w którym odbyło się spotkanie krenologów polskich w pełni na ten zaszczyt zasługuje, zaś opinie na temat zagadnień poruszanych w jego trakcie i sposobu organizacji spotkania pozostawiam Czytelnikom i Uczestnikom.

Summary

Springs – water pearls on the border between of Terra and Hades

A spring is one of the most spectacular form of groundwater outflows onto the ground surface. Simultaneously, it is a visible proof of water circulation in environment and a record of the unity of its surficial and underground circulating system.

Springs seem to be the landscape features, which are not only incredibly interesting, but also require protection. It refers to natural outflows as well as those, who were changed due to human activity. Springs play a very important ecological role in the environment. Their niches as well as the waters gushing from them are often the habitat of rare and biologically precious animals and plant species. Wet enclaves of the spring niches usually create local centers of biodiversity, which

frequently determine the landscape mosaic character. Springs are of educational importance, they have many tourist virtues, possess rich historical background and a great cognitive value. They increase landscape values and attractiveness all their own.

Springs seem to be also important objects referring to local water management, not only due to water consumers, but also water users. They can supply with fresh water of a great quality, as well as with balneologically precious minerals, healing and thermal waters. For hydrogeologists, springs are specific "keyholes", which allow to monitor underground circulation system, to evaluate its abundance and find its properties, often, to prepare groundwater resources for exploitation.

The monography presented below, shows, how many aspects of springs description, exploration and protection in Poland are possible to be found. The authors of particular chapters show that springs can be and should be studied and described from different points of view and with regard to different scientific disciplines. Only such discerning and interdisciplinary sighting enable to evaluate properly their value and role in natural and cultural environment.

2. ZAGADNIENIA TERMINOLOGICZNE I WSPÓŁCZESNE KIERUNKI BADAŃ KRENOLOGICZNYCH

Piotr Moniewski
Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej, Uniwersytet Łódzki
90-139 Łódź, ul. Narutowicza 88, moniek@geo.uni.lodz.pl

2.1. Podstawowe pojęcia, typologie i klasyfikacje współczesnej krenologii

Wprowadzenie

Wypływy wód podziemnych na powierzchnię terenu są jednymi z najbardziej interesujących obiektów hydrograficznych. Ich badaniem zajmuje się dział hydrogeologii zwany krenologią (gr. *krene* – źródło, krynica, zdrój). Krenologia zajmuje się także klasyfikowaniem wypływów ze względu na ich cechy fizyczne.

W analizach krenologicznych bardzo ważna jest prawidłowa identyfikacja i ustalenie swoistych cech badanego obiektu. Niestety, w badaniach wypływów wód podziemnych nie można się oprzeć na jednym, ogólnie przyjętym podziale, ponieważ uniwersalna klasyfikacja nie istnieje (Owczinnikow 1949; Dynowska, Tlałka 1982; Pazdro 1983). Niewiele jest też publikacji syntetycznie ujmujących problematykę typologii (Gołąb 1968; Wieczysty 1982; Pazdro 1983; Tomaszewski 1971, 1996; Słownik hydrogeologiczny 1997); większość autorów zadowala się przytaczaniem tylko ważniejszych klasyfikacji przyjętych za innymi autorami. Dodatkową trudnością jest fakt, że niektóre podziały są tworzone w oparciu o materiał porównawczy z wybranego obszaru (np. dotyczą źródeł gór lub wyżyn) i trudno jest ekstrapolować je na pozostałe regiony. Istnieją jednak typologie uniwersalne, a jednocześnie zakorzenione w literaturze i uznawane przez większość badaczy. Warto zatem szczegółowo przedstawić najczęściej stosowane klasyfikacje wypływów.

Typy wypływów wód podziemnych

Wypływy wód podziemnych można podzielić na skoncentrowane (punktowe, skupione) oraz nieskoncentrowane (powierzchniowe, rozproszone). Pierwsza grupa obejmuje przede wszystkim *źródła*, natomiast do wypływów nieskoncentrowanych zalicza się: *wycieki*, *wysięki* i *młaki* (Dynowska, Tlałka 1982; Tomaszewski 1971, 1996). Oprócz źródeł Wieczysty (1982) wyróżnia wypływy nieskoncentrowane – *źródliska*, do których zalicza młaki i wysięki. Natomiast Pazdro (1983) wyróżnia źródlisko jako odrębny typ wypływu.

Przez hydrogeologów, źródło jest definiowane jako samoczynny, naturalny i skoncentrowany wypływ wody podziemnej na powierzchnię terenu (Instrukcja... 1964; Czebotariew 1970; Dynowska, Tlałka 1982; Wieczysty 1982; Pazdro 1983; Tomaszewski 1971, 1996; Słownik hydrogeologiczny 1997). Źródłami nie są zatem wypływy ze sztolni, studni artezyjskich, pomp itp. Jednak w przypadku starych, porzuconych otworów wiertniczych (np. poszukiwawczych), rozpoznanie antropogenicznej genezy bywa bardzo trudne. Warto zaznaczyć, iż określenie „naturalny" w większym stopniu dotyczy właśnie genezy wypływu, niż jego współczesnych cech. Naturalne źródła, położone na terenach zurbanizowanych, są często poddawane silnej antropopresji, zmieniającej zasadniczo warunki hydrogeologiczne (obniżenie zwierciadła wód podziemnych, zanieczyszczenie warstwy wodonośnej). Zmiany mogą też dotyczyć samego miejsca wypływu poprzez jego obudowę, ujęcie lub pogłębienie. Zanik naturalnych cech wypływu wynika często z nadmiernej eksploatacji poziomu wodonośnego (np. w uzdrowisku) i powoduje konieczność sztucznego dobywania wody z pewnej głębokości. Jednak nadal wszystkie tego typu obiekty są uważane za źródła.

Najbardziej istotnym wyróżnikiem źródła jest punktowy wypływ wody. Mimo to, źródłami są też nazywane duże wywierzyska lub rozległe strefy, składające się z wielu wypływów. Często zatem zdarza się, że pojęcie źródła bywa stosowane jako synonim ogółu wypływów. Dzieje się tak w wyniku przenikania języka potocznego do terminologii naukowej. Słownik języka polskiego (Szymczak 1978), charakteryzuje źródło jako: „naturalny wypływ wody podziemnej na powierzchnię ziemi". W tej definicji mieszczą się zatem również obiekty o wypływie nieskoncentrowanym.

W literaturze hydrologicznej można napotkać zarówno próby „uściślenia" pojęcia źródła (*źródło właściwe* – Pietkiewicz 1958; Gołąb 1968), jak i rozszerzenia tego terminu na obiekty przekraczające rozmiary „punktu" (*źródło rozproszone* – Wieczysty 1982; *źródło o wypływie skupionym na pewnej przestrzeni* – Tomaszewski 1971; *źródło wysiękowe* – Międzynarodowy słownik hydrologiczny 2001). Warto tu wspomnieć o terminie *gryfon*, spotykanym niekiedy w zagranicznej literaturze hydrologicznej, natomiast w polskiej zupełnie niezna-

nym (Langguth 1984). Gryfon można zdefiniować jako skoncentrowany wypływ strumienia wody podziemnej w źródle. W przypadku źródeł ujętych, gryfon najczęściej znajduje się powyżej urządzeń ujęcia.

Terminem *źródlisko* określa się zwykle zespół źródeł występujących blisko siebie (Pazdro 1983; Słownik hydrogeologiczny 1997). Jeżeli są one położone na jednej wysokości lub schodzą wzdłuż cieku, układają się w *linię źródeł* (Instrukcja... 1964). Z kolei, Wieczysty (1982) źródliskiem nazywa miejsce, gdzie woda: „wysącza się, ale nie tworzy wyraźnego cieku". Tuż obok źródeł mogą jednak występować pozostałe typy wypływów, drenujące ten sam zbiornik wodonośny. Zasadniczym wyróżnikiem źródliska powinien być więc związek hydrauliczny pomiędzy poszczególnymi wypływami a wodonoścem. Wydaje się zatem, że pod pojęciem źródliska należy rozumieć wypływy różnego typu skupione we wspólnej niszy.

Pojęcie źródliska jest już mocno zakorzenione w terminologii hydrobiologicznej, jednak termin ten jest raczej odnoszony do siedliska czy ekosystemu związanego z wypływami wody podziemnej. Kryterium podziału stanowi tutaj sposób wydobywania się wody na powierzchnię, istotny z punktu widzenia żyjących w wypływie roślin i zwierząt wodnych. Źródła (źródliska) można podzielić na:

- *reokreny* – o szybkim przepływie wody wypływającej strumieniem, odsłaniającej piaszczysto-żwirowe dno wskutek porywania z sobą drobniejszych frakcji;
- *helokreny* (*źródła bagienne*) – o odpływie utrudnionym przez warstwę osadów organicznych nasączonych wodą, tworzących podmokłe, zarośnięte bagnisko;
- *limnokreny* – wypływające w basenach, których dno pokrywa piasek lub muł, a otoczenie może być porośnięte roślinnością zielną lub zabagnione (Thienemann 1926 za Starmach i in. 1976).

Wypływy rozproszone są spotykane równie często jak skupione. *Wyciekiem* nazywany jest wypływ wody podziemnej na pewnej przestrzeni (*wyciek powierzchniowy*) lub wzdłuż linii (*wyciek linijny*). Zupełnie odmienne, błędne wyjaśnienie podają autorzy Międzynarodowego słownika hydrologicznego (2001), definiując wyciek jako: „wypływ ze zbiornika lub instalacji". Szczególnym rodzajem wycieku jest *wykap* (inaczej *wypływ kroplisty*), powstały wskutek wysączania się wody podziemnej ze stromej ściany skalnej (Pazdro, 1983). Natomiast *wysięk* jest to wysączanie się wody podziemnej, powodujące zawilgocenie terenu. Wysięk nie daje widocznego odpływu na zewnątrz, ponieważ ilość wysączającej się wody jest tak niewielka, że w całości paruje lub wsiąka w podłoże (*wysięki ewaporacyjne*, *infiltracyjne* i *ewaporacyjno-infiltracyjne*).

Młaka to powierzchniowy, rozlewny wypływ wody podziemnej, zabagniony lub zatorfiony. W warunkach terenowych rozpoznanie młaki ułatwia specyficzna roślinność i obecność torfu w podłożu. Większe skupiska młak nazywane są *polem młacznym* lub *torfowiskiem źródliskowym*. Według Tomaszewskiego (1970), ze względu na typ wypływu inicjalnego (pierwotnego), młaki można podzielić na *źródlane*, *wyciekowe* i *wysiękowe*. Młaki mają odpływ stały (*młaki wypływowe* lub *odpływowe*), okresowy (*młaki ewapotranspiracyjno-wypływowe*) lub nie posiadają odpływu (*młaki ewapotranspiracyjne, młaki infiltracyjne*).

Wypływy nieskoncentrowane, mniej spektakularne, często o niewielkiej wydajności, cieszą się niekiedy mniejszym zainteresowaniem krenologów i bywają pomijane w zestawieniach. Tymczasem, jak wskazuje Tomaszewski (1977) „…przy wykonywaniu regionalnych opracowań krenologicznych należy brać pod uwagę wszystkie rodzaje wypływów i traktować je równorzędnie". Ponadto, badania przeprowadzane ponownie na tym samym obszarze dowodzą, że możliwe jest „przechodzenie" jednych typów wypływów w inne (Tlałka, Waksmundzki 1968; Chełmicki 2001; Michalczyk 2001).

Mimo iż typologie zwykle odnoszą się do źródeł, większość z nich dotyczy również wypływów nieskoncentrowanych. Ze względu na pochodzenie wody, wypływy można podzielić na *meteoryczne* i *juwenilne* (Pazdro 1983). Większość wypływów jest oczywiście zasilana wodami pochodzenia opadowego. Inny podział oparty jest na rodzaju drenowanego zbiornika wód podziemnych. Wyróżnia się więc wypływy *wód zaskórnych*, *gruntowych* i *artezyjskich* (Owczinnikow 1949). Należy przy tym zaznaczyć, że źródliska mogą skupiać wypływy zasilane z różnych poziomów wodonośnych.

Inne kryterium dotyczy ciągłości funkcjonowania wypływów. Zgodnie z nim wyróżnia się wypływy *stałe* (*trwałe*) i *okresowe* (*efemeryczne*) – Słownik hydrogeologiczny (1997). Z kolei, wśród wypływów okresowych występują *okresowo zanikające* oraz *pulsujące* (*tętniące*). Zdaniem Pazdry (1983) wypływ wody odbywa się z niewielkimi przerwami wskutek zatykania szczelin przez piasek. Natomiast autorzy Międzynarodowego słownika hydrologicznego (2001) podają zupełnie nieprawdopodobne wyjaśnienie, że pulsację źródła wywołują zmiany ciśnienia wody przy podniesieniu jej poziomu w pobliskiej rzece lub zmiany obciążenia gruntu wskutek prowadzenia robót ziemnych.

Funkcjonowanie wypływów okresowych jest zwykle zależne od stopnia napełnienia zasilającego je zbiornika wód podziemnych. Źródłami *epizodycznymi* (Keller 1962), nazywamy takie wypływy, które sporadycznie wyprowadzają wodę, najczęściej w okresie najwyższego położenia zwierciadła drenowanego poziomu wodonośnego. Szczególnym rodzajem wypływów okresowych są *źródła intermitujące* (*rytmiczne*). Wypływy tego typu są rozpoznawane dzięki regularnym pomia-

rom wydajności w dłuższym okresie. Woda podziemna przesącza się i gromadzi w podziemnej komorze połączonej z wylotem kanałem w kształcie lewara (Bogomołow 1955). Po osiągnięciu poziomu inicjującego wypływ, woda wydobywa się w kilku- kilkunastominutowych (lub dłuższych) porcjach o identycznej objętości, po czym wypływ wody ustaje (łac. *intermitto* – przerwać, ustać). Warto zaznaczyć, że przerwy w wypływie wody mogą różnić się długością w zależności od intensywności dopływu do podziemnej komory. Mimo, iż typ źródła intermitującego jest wymieniany w każdym niemal podręczniku hydrogeologii, w naturze występują one stosunkowo rzadko – w Europie znanych jest 7 (np. źródło Fontestorbe w Pirenejach; Pulina 1999), a w USA 8 tego typu wypływów (Matthess, Ubell 1983). W Polsce nie zarejestrowano dotąd żadnego źródła intermitującego; najbliżej położone – Občasný Prameň, znajduje się w Słowackim Raju.

Podział wypływów zależy również od rodzaju siły powodującej wypływ wody. Zgodnie z nim wyróżniamy wypływy *descensyjne* (*grawitacyjne*, *zstępujące*, *spływowe*), gdzie woda przemieszcza się pod wpływem siły grawitacji oraz *ascensyjne* (*artezyjske*, *wstępujące*, *podpływowe*), w których wypływ wody powodowany jest siłą ciśnienia hydrostatycznego warstwy wodonośnej. Źródła te bywają niesłusznie nazywane pulsującymi, ponieważ strumień wypływającej wody, porywając ze sobą ziarna piasku, powoduje złudzenie „pulsacji". Jednak w odróżnieniu od rzeczywistych źródeł pulsujących, wypływ wody występuje tu stale i odznacza się zazwyczaj wyjątkową regularnością wydatku. Trzecim wyróżnianym rodzajem wypływów są źródła *lewarowe*. Ich wyodrębnienie wynika z odmiennego mechanizmu funkcjonowania, ponieważ ruch wody jest wywołany podciśnieniem wytworzonym w kanale lewara przez ciężar słupa wypływającej wody. Są to wspomniane już źródła intermitujące.

Ze względu na rodzaj przewodów wyprowadzających wodę podziemną wypływy można podzielić na:

- *warstwowe* – wypływające z utworów porowych w wyniku rozcięcia warstwy wodonośnej (*warstwowo-erozyjne*), na kontakcie z warstwą słaboprzepuszczalną (*warstwowo-kontaktowe*) lub wskutek zmniejszenia miąższości warstwy wodonośnej lub przepuszczalności jej utworów (*warstwowo-zaporowe*)
- *szczelinowe* – bijące ze skał litych, poprzecinanych siecią szczelin, z których jedna wyprowadza wodę na powierzchnię; w przypadku, gdy wzdłuż szczeliny nie nastapiło przesunięcie skał, a jedynie ich odspojenie, źródło nazywamy *diaklazowym*.
- *uskokowe* (*dyslokacyjne*) – wypływające szczeliną biegnącą wzdłuż płaszczyzny uskoku
- *krasowe* – zasilane wodami skrasowiałych masywów skalnych

Wiele podziałów dotyczy źródeł krasowych, zwanych często wywierzyskami. Zdaniem Tomaszewskiego (1996) wywierzysk nie należy zaliczać do źródeł, bowiem nie wszystkie z nich są rzeczywiście wypływami wody podziemnej na powierzchnię ziemi. Tymczasem Pulina (1999) wyraźnie odróżnia *wypływy krasowe*, będące wylotami rzek tranzytowych niknących w ponorach, od *wywierzysk* wyprowadzających wodę podziemną ze skrasowiałej warstwy wodonośnej. Podział ten wynika z podziału wypływów na *pierwotne* (*eksurgenty*; łac. *ex* – z, ze środka na zewnątrz, *exurgo* – powstawać, podnieść się) i *wtórne* (*resurgenty*; łac. *re* – z powrotem, znowu, *resurgo* – powstawać, podnosić się), stosowanego przez francuskich hydrogeologów (Pietkiewicz 1958; Pazdro 1983). Trzecim rodzajem źródeł krasowych, wymienianych przez Pulinę (1999) są *estawele*, które w zależności od stanu zawodnienia masywu krasowego są raz ponorami, a raz wywierzyskami.

W zależności od kształtu i rozmiarów przewodu doprowadzającego wodę do źródła krasowego można wyróżnić wypływy: *szczelinowo-krasowe*, *kanałowe* oraz *jaskiniowe*. Zdaniem Dawydowa i in. (1979) wśród źródeł krasowych można wyróżnić *przelewowe* i *okresowe* (*lewarowe*), zaś Wieczysty (1982) dzieli je na *lewarowe* i *zwykłe*. Według Bogomołowa (1955), okresowo czynne źródła krasowe można podzielić na *syfonowe* i *przelewowe* (*wokluzyjskie*). W Słowniku hydrogeologicznym (1997), źródłami wokluzyjskimi (*source vauclusienne*) nazywane są wszystkie wywierzyska, podczas gdy autorzy Międzynarodowego słownika hydrologicznego (2001) utożsamiają je ze źródłami lewarowymi. Jest to całkowicie niesłuszne, bowiem Fontaine de Vaucluse jest wywierzyskiem stale funkcjonującym, a jego kanał nie ma kształtu lewara, lecz syfonu. Jednocześnie należy wspomnieć, że przelewanie się wody przez krawędź gardzieli następuje wyłącznie w czasie obfitszego wypływu; przy niskich stanach wód funkcjonują tylko niżej położone szczeliny. Pulina (1999) wyróżnia nawet typ syfonalny wywierzysk (typ *vaucluse*), wskazując na występowanie podobnych wypływów w Polsce (Wywierzysko Bystrej, Lodowe Źródło).

Istotnym czynnikiem warunkującym krążenie wody podziemnej jest charakter litologiczny utworów wodonośnych. Źródła *skalne* biją z uszczelinionych skał litych, natomiast wodonoścem wypływów *pokrywowych* jest rumosz skalny, przykrywający skałę pokrywą złożoną z dużych okruchów (*rumoszowe*) lub drobniejszego materiału (*zwietrzelinowe*). Wodonosiec wypływów *rumoszowo-zwietrzelinowych* jest różnofrakcyjny.

Zmiana warunków hydrogeologicznych na drodze przemieszczania się wody podziemnej może powodować jej spiętrzenie i wydostanie się na powierzchnię terenu. Taką przeszkodę może stanowić warstwa słaboprzepuszczalna, np. żyła magmowa – dajka (*źródło zaporowe*), zmniejszenie wodoprzepuszczalności war-

stwy (*zaporowe-warstwowe*) lub płaszczyzna uskoku (*zaporowo-uskokowe*). Wypływ wody może też następować wskutek przekroczenia pojemności nieckowato ukształtowanego zbiornika wody podziemnej (*źródło przelewowe*), w którego spągu znajdują się utwory słaboprzepuszczalne (Dynowska, Tlałka 1982).

Parametry filtracyjne wodonośca zależą przede wszystkim od jego składu granulometrycznego, wyróżniamy więc wypływy: *żwirowe*, *piaszczyste*, *piaszczysto-pylaste*, *piaszczysto-gliniaste* i *pylaste* (Tomaszewski 1996). Warstwa wodonośna może być przy tym odsłonięta (źródło *odkryte*) lub przykryta zwietrzeliną (źródło *zakryte* albo *filtracyjne*). W niektórych przypadkach możliwe jest rozpoznanie tektonicznego układu warstw wodonośnych, lecz konieczna jest wówczas dokładniejsza analiza hydrogeologiczna otoczenia wypływu. Pozwala ona wydzielić wypływy: *antyklinalne*, *synklinalne*, *monoklinalne*, *upadowe* i *przeciwupadowe* (Bażyński, Turek 1969; Wieczysty 1982).

Bardzo popularna i znacznie łatwiejsza jest identyfikacja położenia morfologicznego charakteryzowanego miejsca wypływu wody podziemnej. Najczęściej określa się je względem elementów doliny rzecznej. W jej dnie biją wypływy *dolinne*: *zakolowe*, *rzeczne*, *przykorytowe* i *korytowe*. Pod krawędzią teras rzecznych znajdują się wypływy *terasowe*, a wyższe partie doliny odwadniają wypływy *podzboczowe* i *zboczowe*. U podnóża wzniesień znajdują się wypływy *podstokowe* (*podnóżowe*), na ich skłonach występują wypływy *stokowe*, a na grzbietach – *grzbietowe*. Wypływy mogą być zlokalizowane u podnóża klifu (*klifowe*), stożków napływowych (*stożkowe*), moren czołowych i bocznych (*morenowe*) lub na przedpolu sandrów (*sandrowe*). Wodonoścem wypływów mogą być np.: jęzory osuwiskowe (*osuwiskowe*), spękane pokrywy lawowe (*lawowe*), deluwia (*deluwialne*) lub aluwia (*aluwialne*).

Z morfologią wypływów wiąże się również szereg pojęć pokrewnych:

- *nisza (misa) źródłowa* (*źródlana, źródliskowa*) – zaklęsłość na stoku lub u jego podnóża, przybierając niekiedy formę leja lub małej pieczary, powstała wskutek erozyjnej i sufozyjnej działalności wód źródlanych (Matthess, Ubell 1983);
- *obszar źródłowy* – strefa odwadniana przez cieki epizodyczne (Klimaszewski 1978);
- *zbiornik strumienny* (*źródłowy*) albo *lej* (*kocioł*) *źródłowy* – forma powstała z połączenia debrzy (Klimaszewski 1978), także wylot kanału wyprowadzającego wodę podziemną do niszy źródłowej (Matthess, Ubell 1983).

Woda podziemna wydobywa się zwykle bezpośrednio na powierzchnię terenu – taki źródło nazywamy *niezatopionym*. Niekiedy jednak miejsce wypływu położone jest poniżej zwierciadła wód powierzchniowych (źródło *zatopione*). Często wypływ ma miejsce w dnie koryta rzecznego, które nacina warstwę wo-

donośną lub odsłania prowadzącą do niej szczelinę (źródło *korytowe*). W źródle *basenowym* (*podwodnym*, *podpiętrzonym*), często ascensyjnym, woda wypływa w dnie niewielkiego zbiornika utworzonego w miejscu, gdzie jej odpływ jest utrudniony. Źródła mogą też występować w dnach jezior, których misa głęboko rozcina warstwę wodonośną (źródła *podjeziorne*). Szczególnie obfite są wywierzyska *podmorskie*, wyprowadzające wody słodkie (typ *vrulja*) albo słonawe (typu *brachy*) w głąb morza. Nieco inny charakter mają *katawotry* (*młyny morskie*). W zależności od stanu morza (pływy morskie) wywierzyska te umożliwiają odpływ słodkich wód podziemnych do morza lub penetrację wód morskich do wnętrza skrasowiałego masywu (Pulina 1999).

Klasyfikacje wypływów

Ważnym wskaźnikiem i jednocześnie kryterium podziału wypływów są cechy fizykochemiczne wypływającej wody. Poziom mineralizacji, skład chemiczny i temperatura wody mówią wiele o głębokości i mechanizmie jej krążenia w środowisku skalnym oraz o stopniu zanieczyszczenia zbiornika podziemnego. Można tu zastosować najprostszy podział wypływów na *słodkie* i *mineralne* lub też bardziej złożony, na: *ultrasłodkie* (<0,1 $g \cdot dm^{-3}$), *słodkie* (0,1–0,5 $g \cdot dm^{-3}$), *akratopegi* (0,5–1 $g \cdot dm^{-3}$) oraz *mineralne* (>1 $g \cdot dm^{-3}$). W dalszej kolejności, za Pazdro (1983), wody mineralne można podzielić na: *słabo zmineralizowane* (1–3 $g \cdot dm^{-3}$), *średnio zmineralizowane* (*słonawe* – 3–10 $g \cdot dm^{-3}$), *silnie zmineralizowane* (*słone* – 10–35 $g \cdot dm^{-3}$) i *solanki* (>35 $g \cdot dm^{-3}$).

Z uwagi na skład chemiczny wody można wyróżnić trzy podstawowe typy hydrochemiczne wypływów: *szczawy* (*wodorowęglanowe*), wypływy *solankowe* (*chlorkowe*) i *siarczanowe*. Ich wody mogą przy tym zawierać pewne ilości składników swoistych, nadających wypływom szereg indywidualnych cech; mamy więc wypływy: *żelaziste*, *arsenowe*, *manganowe*, *fluorkowe*, *bromkowe*, *jodkowe*, *siarczkowe*, *borowe*, *krzemowe*, *radoczynne*, *kwasowęglowe* itp. Najczęściej spotykane są wypływy żelaziste, zawierające domieszkę związków żelaza pochodzących z ługowania ubogich złóż (ruda darniowa). W miejscu, gdzie woda podziemna wypływa na powierzchnię, związki żelaza utleniają się:

$$4Fe(HCO_3)_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3 + 8CO_2 \qquad (1)$$

Charakterystycznym osadem są rdzawe kłaczki wodorotlenku żelazowego, zasiedlane przez kolonie chemosyntetyzujących bakterii żelazistych. Do wypływów specyficznych zaliczane są także *źródła gazujące*, zwane *pieniawami*. Mogą one zawierać wolny dwutlenek węgla, metan (*metanowe*) lub siarkowodór (*siarkowodorowe*). Należą do nich również *soffioni* – ekshalacje pary wodnej

z domieszką gazów pomagmowych (H_2S, CO_2). Na obszarach wulkanicznych występują *fumaroliczne źródła termalne*, *głębokiego* lub *płytkiego pochodzenia,* których silnie zmineralizowane wody zawierają gazy pomagmowe. Spotyka się również *pseudofumaroliczne źródła termalne*, które powstają w wyniku wtórnego nasycenia wód podziemnych (czasami powierzchniowych) gazami wydzielanymi z wód termalnych głębszej cyrkulacji (Langguth 1984)

Wypływy można także podzielić na *stałotermiczne* (*homotermiczne*) oraz *zmiennotermiczne* (*heterotermiczne*) (Pietkiewicz 1958; Wieczysty 1982; Tomaszewski 1996; Słownik hydrogeologiczny 1997). Do wypływów homotermicznych zaliczane są te źródła, które charakteryzują się źródeł bardzo niewielką roczną amplitudą temperatury wody, rzędu dziesiątych części ºC (Dynowska, Tlałka 1982). Wśród nich znajdują się wypływy *zimne*, *chłodne*, *zwykłe* i *termalne* (*cieplice*) (Pazdro 1983; Tomaszewski 1996). Zgodnie z bardziej rozwiniętą klasyfikacją, zaproponowaną przez Wieczystego (1982), wypływy można zaliczać do jednej z siedmiu klas termicznych (tab. 2.1.1). Kwalifikacja źródeł heterotermicznych do odpowiedniej klasy odbywa się na podstawie średniej rocznej temperatury wody.

Tabela 2.1.1

Klasyfikacja źródeł na podstawie temperatury wody (według Wieczystego 1982)
Classification of springs based on water temperature (after Wieczysty 1982)

Klasa źródła	Nazwa	Temperatura wody źródlanej [ºC]
I	wyjątkowo chłodne	< 0
II	bardzo chłodne	0 – 4
III	chłodne	4 – 20
IV	ciepłe	20 – 37
V	gorące	37 – 42
VI	bardzo gorące	42 – 100
VII	wyjątkowo gorące	> 100

Za wody termalne uznaje się takie, których temperatura jest wyraźnie wyższa od średniej rocznej temperatury powietrza danego miejsca (Hackett 1998). Zgodnie z podziałem Pietkiewicza (1958) wyróżnia się następujące typy wód termalnych:

- *cieplice* – o temperaturze wody wyższej o 10–12ºC od średniej rocznej temperatury powietrza;
- *źródła ciepłe* – o temperaturze wody mieszczącej się w przedziale 20–32ºC;
- *źródła gorące* o temperaturze wody przekraczającej 32ºC.

Źródła gorące, nazywane gejzerami (isl. *gjósa* – tryskać, wybuchać), występują na terenach wulkanicznych. Gejzery wyrzucają w dość regularnych odstępach czasu (od kilku minut do kilkudziesięciu godzin) słup wody i pary o temperaturze wrzenia. Proces ten można przyspieszyć wrzucając do otworu np. roztwór mydła, zmniejszający napięcie powierzchniowe. Jednak gejzery można znaleźć nawet na obszarach gdzie wulkanizm ma już charakter szczątkowy, a nawet wygasły. Najbliżej Polski znajdują się gejzery w Herlanach w masywie Slanske Vrchy oraz Siva Brada w miejscowości Spisske Podhradie (Słowacja) – wspomagane dwutlenkiem węgla.

Niektóre miary stosowane w krenologii

Jednym z podstawowych parametrów charakteryzujących występowanie wypływów wód podziemnych na danym obszarze jest *wskaźnik gęstości źródeł*, nazywany też *wskaźnikiem krenologicznym* lub po prostu *uźródłowieniem* (Pazdro 1983). Jednak w literaturze przedmiotu można spotkać aż trzy jego postacie. Uźródłowienie może być wyrażane jako:

- liczba źródeł przypadająca na 1 km^2 powierzchni terenu;
- wielkość powierzchni, wyrażona w km^2, przypadająca na 1 źródło;
- liczba źródeł przypadająca na 1 km długości cieku.

Pierwsza z przedstawionych form tego wskaźnika jest stosowana najczęściej i ma największe uzasadnienie (łatwość obliczenia i interpretacji). Drugą z nich oblicza się jako odwrotność pierwszego wariantu, jednak nie można jej wówczas interpretować jako przeciętnej powierzchni drenowanej przez jedno źródło. Pewna część wód podziemnych nie jest bowiem drenowana punktowo lecz liniowo, poprzez cieki. Trzecia z form wydaje się natomiast trudna do obliczenia w bardziej skomplikowanych systemach rzecznych, a ponadto jest uzależniona od poziomu odwzorowania cieku na mapie. W zastosowaniu wskaźnika krenologicznego nie pomaga też toczący się w środowisku badaczy spór o to, czy powinien on uwzględniać wszystkie formy wypływów, czy tylko źródła?

Inną często stosowaną miarą jest *współczynnik drenowania zlewni* (Kryza 1986), wyrażający udział wypływów w odpływie rzecznym (w_D):

$$w_D = \frac{Q_Z}{Q_C} \ [\%] \tag{2}$$

Jest on obliczany jako iloraz sumarycznej wydajności wypływów w zlewni (Q_Z) i przepływu całkowitego cieku (Q_C). Także i w tym przypadku, można wziąć pod uwagę zarówno wszystkie zidentyfikowane wypływy, jak i wyłącznie źródła.

Jedną z najważniejszych cech wypływu jest jego wydajność (wydatek), rozumiana jako ilość (objętość) wydobywającej się wody podziemnej w jednostce czasu, podawana w $dm^3 \cdot s^{-1}$, rzadziej w $m^3 \cdot s^{-1}$. Zwykle pomiar dokonywany jest w pewnej, znacznej nieraz odległości od miejsca wypływu przy zastosowaniu metody wolumetrycznej, przelewu lub młynka hydrometrycznego. Najbardziej rozpowszechnionym podziałem wypływów ze względu na wielkość wydatku, jest klasyfikacja zaproponowana już w 1923 r. przez Meinzera. Po raz pierwszy została ona użyta do waloryzacji wywierzysk Florydy, przy czym, zdaniem autora, pojedynczy pomiar wydajności wystarcza do umieszczenia źródła w jednej z klas. Warto pamiętać, że wydatki wypływów w oryginalnym podziale Meinzera wyrażone są w anglosaskich miarach objętości, a stosowane współcześnie granice przedziałów wynikają bądź z prostego przeliczenia jednostek (tab. 2.1.2), bądź też są próbą stworzenia zupełnie nowych, uproszczonych klas (Pazdro 1983).

Wydajność zmienia się w zależności od napełnienia drenowanego przez wypływ zbiornika wody podziemnej. Zmienność wydatku wyraża wskaźnik zmienności wieloletniej (R) zaproponowany przez Maillete'a (1905):

$$R = \frac{Q_{\max}}{Q_{\min}} \tag{3}$$

obliczany jako iloraz maksymalnego (Q_{max}) do minimalnego (Q_{min}) wydatku źródła (Pazdro 1983). Rozpiętość przedziałów, proponowana przez różnych autorów, może być dowolna (tab. 2.1.3). W przypadku, gdy nie dysponujemy dostatecznie długim ciągiem obserwacji, można go obliczać dla krótszych okresów (np. dla jednego roku).

Wydatek wypływu wody podziemnej i jego zmienność wynikają z zasobności zbiornika wód podziemnych drenowanego przez źródło. Potencjał zasobności tego zbiornika można obliczyć znając współczynnik recesji α (współczynnik wysychania), obliczony zgodnie formułą Maillete'a (Maillet 1905; Pazdro 1983):

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha \cdot t} \tag{4}$$

gdzie: Q_t – wydajność źródła po czasie t, Q_0 – wydajność początkowa, e – podstawa logarytmów naturalnych, α – współczynnik wysychania, t – czas odpowiadający zmniejszeniu się wydajności źródła z Q_0 do Q_t.
Po zlogarytmowaniu powyższego równania otrzymujemy:

$$\alpha = \frac{\ln Q_0 - \ln Q_t}{t} \tag{5}$$

Tabela 2.1.2

Wydajność źródeł w klasyfikacji Meinzera według różnych autorów
Springs yield in Meinzer classification after different authors

Wielkość (kategoria, klasa)	Meinzer (1927)	Wieczysty (1982)	Mathess, Ubell (1983)	Metric Units	Pazdro (1983)
I	≥100 cfs	2,8 m^3/s	≥2830 l/s	≥2,832 $m^3 \cdot s^{-1}$	>10000 l/s
II	≥10 to100 cfs	0,28 do 2,8 m^3/s	283 do 2830 l/s	≥0,283 to 2,832 $m^3 \cdot s^{-1}$	1000 do 10000 l/s
III	≥1 to 10 cfs	28 do 280 l/s	28,3 do 283 l/s	≥0,028 to 0,283 $m^3 \cdot s^{-1}$	100 do 1000 l/s
IV	≥100 gpm to 1 cfs	6 do 28 l/s	6,31 do 28,3 l/s	≥0,0063 to 0,028 $m^3 \cdot s^{-1}$	10 do 100 l/s
V	≥10 to 100 gpm	0,6 do 6 l/s	0,631 do 6,31 l/s	≥0,631 to 6,308 $dm^3 \cdot s^{-1}$	1 do 10 l/s
VI	≥1 to 10 gpm	3,8 l/min do 0,6 l/s	0,0631 do 0,631 l/s	≥0,063 to 0,631 $dm^3 \cdot s^{-1}$	0,1 do 1 l/s
VII	≥1 pint/min to 1 gpm	0,5 do 3,8 l/min	0,0631 do 0,0079 l/s	≥0,473 to 3,785 $dm^3 \cdot min^{-1}$	0,01 do 0,1 l/s
VIII	<1 pint/min	0,5 l/min	<0,0079 l/s	<0,473 $dm^3 \cdot min^{-1}$	<0,01 l/s

cfs (stopa sześcienna na sekundę) = 28,3 $dm^3 \cdot s^{-1}$; gpm (galon na minutę) = 3,785 $dm^3 \cdot s^{-1}$; pint/min (pinta na minutę) = 1/8 gpm = 0,473 $dm^3 \cdot s^{-1}$
cfs (cubic feet per second) = 28,3 $dm^3 \cdot s^{-1}$; gpm (gallons per minute) = 3,785 $dm^3 \cdot s^{-1}$; pint/min (pints per minute) = 1/8 gpm = 0,473 $dm^3 \cdot s^{-1}$

Wówczas, znając charakterystykę wysychania, można obliczyć potencjał zasobności drenowanego zbiornika (W) przy dowolnym wydatku źródła (Q):

$$W = \frac{86400 \cdot Q}{\alpha} \tag{6}$$

Iloraz sumarycznego rocznego odpływu ze źródła (ΣQ) i średniej zasobności drenowanego przez nie zbiornika (W), nazywany jest współczynnikiem odnawialności (η) – Jokiel (1994b, 2002) lub wskaźnikiem pojemności źródła (Pazdro 1983):

$$\eta = \frac{\sum_{1}^{365} Q \cdot 86400}{W} \tag{7}$$

Tabela 2.1.3

Zmienność wydatku źródeł w klasyfikacji Maillete'a (za Wieczystym 1982)
Variability of springs yield in Maillet classification (after Wieczysty 1982)

R	Maillet	Parde	Owczinnikow	Wieczysty
1			bardzo stałe	stałe
1 – 2	stałe	bardzo regularne	stałe	bardzo regularne
2 – 2,5	mało zmienne	bardzo mało zmienne	zmienne	bardzo mało zmienne
2,5 – 3		średnio zmienne		mało zmienne
3 – 5				
5 – 10				średnio zmienne
10 – 15	zmienne		bardzo zmienne	
15 – 30				zmienne
30 – 50			wyjątkowo zmienne	bardzo zmienne
50 – 90	bardzo zmienne			wyjątkowo zmienne
> 90				

Wypływy wody podziemnej można klasyfikować ze względu na tempo wymiany wody w drenowanym zbiorniku. Według Wieczystego (1982) może je cechować:

- wymiana mniej niż jednoroczna (η > 1)
- wymiana jednoroczna (η = 1)
- wymiana kilkuletnia
- wymiana kilkunastoletnia
- wymiana kilkudziesięcioletnia

– wymiana wiekowa ($\eta = 10^{-2}$)
– wymiana w skali czasu geologicznego ($\eta = 10^{-5}$–10^{-10})

Fizykochemiczne cechy wypływów rzadko można wyrazić za pomocą kompleksowych charakterystyk. Prowadząc badania na obszarach o znacznych deniwelacjach terenu obserwuje się niekiedy spadek temperatury wód wypływów wraz ze wzrostem ich wysokości nad poziomem morza. Związek ten dotyczy przede wszystkim źródeł, bowiem temperatura pozostałych typów wypływów zbyt silnie wiąże się z aktualną temperaturą powietrza, ekspozycją stoku itp. Zależność tą opisują dwie miary:

– *stopień krenotermiczny* [m] – wysokość, z którą średnia roczna temperatura wody źródlanej zmienia się o 1ºC;
– *gradient krenotermiczny* [ºC] – wartość, o którą średnia temperatura wody źródlanej zmienia się na deniwelacji 100 m.

Podsumowanie

Liczbę terminów i synonimów, funkcjonujących w literaturze krenologicznej, Pazdro (1983) ocenia na blisko 200, a istniejące klasyfikacje wypływów są oparte o co najmniej 20 różnych kryteriów. Ich bogactwo wynika z olbrzymiej różnorodności typów i odmian wypływów wód podziemnych, występujących w przyrodzie. Indywidualne cechy sprawiają, że każdy z wypływów jest na swój sposób niepowtarzalny, co utrudnia ich prawidłową klasyfikację. Trudności te wynikają również po części z faktu, iż badania krenologiczne nigdy dotąd nie były nurtem wiodącym, lecz stały na pograniczu zainteresowań geomorfologii, hydrologii, hydrogeologii, hydrochemii i hydrobiologii. Jednak biorąc pod uwagę postęp, jaki dokonał się w badaniach krenologicznych, brak jednolitej, spójnej klasyfikacji wypływów wód podziemnych nie wydaje się istotną przeszkodą w ich dalszym rozwoju. Z drugiej jednak strony, warto zauważyć, że polska krenologia stała się w ostatnich latach dziedziną na tyle dojrzałą, że wymaga wyodrębnienia, w sposób bardziej wyraźny niż dotychczas, własnego aparatu pojęciowego. Stworzenie współczesnego słownika krenologicznego, pozostawiającego minimum miejsca na interpretację własną badaczy, przyczyniłoby się, zdaniem autora, do lepszego zrozumienia i bardziej precyzyjnego stosowania właściwej terminologii.

Summary

Basic terms, typologies and classifications in present krenology

Classification of groundwater outflows is one of the most important problems in today's krenology. There are many types, repartitions and terms of outflows in hydrological literature. Using term *spring* we mean natural, concentrated groundwater outflow onto the surface. We can find it in mountains, uplands, lowlands as well as in areas being under the strong human pressure. But the other non-concentrated outflows: *spring sappings*, *seepages* and *bog-springs* are important just as springs. In respect of origin one can distinguish d *meteoric* or *juvenile* outflows; after that one can distinguish: *perennial*, *periodic* and *ephemeral* outflows. Their position in river valleys is deciding to use a morphological classification (for example: *hillside*, *scarp-foot*, *landslide* outflows). Furthermore, springs may be *ascending*, *descending* (*gravity*) or *intermittent* too. In hydrogeological classification, which is one of the basic, it exists: *filtration*, *fissure*, *karst* and *fault* springs. Karst springs, often named *vauclusian* springs, usually are very well known. Sometimes, waters of outflows are composed of specific minerals (*mineral* springs: *acidulous*, *saline*, *bicarbonated*) or dissolved gas (*bubbling* springs). Temperature of water also can be an important criterion of groundwater outflows division (*cold* and *hot* (*thermal*) springs; tab. 2.1.1). In numerous publications it is possible to find several different classifications in respect of spring yield (tab. 2.1.2) or its variability (tab. 2.1.3). Springs investigations are of great importance for present Earth sciences. However, it is very difficult to use krenological terms precisely, because there is no uniformity and clear typology or classification.

Krzysztof Puk
Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza
ul. Dzięgielowa 27, 61-680 Poznań, krzypuk@amu.edu.pl

2.2. Wybrane problemy polskiej terminologii krenologicznej

Wprowadzenie

W polskiej literaturze krenologicznej, z zakresu hydrologii, geologii, hydrogeologii oraz biologii, a także w licznych pozycjach słownikowych i encyklopedycznych, można zauważyć panującą w nich niejednolitość terminologiczną, nierzadko brak konsekwencji używanych pojęć i spójności wywodów. Nie będzie przesadą stwierdzenie, że stan terminologii krenologicznej, nie uległ poprawie od czasu, kiedy Tomaszewski (1971), napisał, iż „mimo sformułowania podstawowych pojęć, w terminologii krenologicznej nie wszystko jest jasne i dopowiedziane do końca". Analiza polskiej literatury tematu, wyłącznie pod kątem stosowanej terminologii, pozwala na ukazanie odmiennego podejścia badaczy do zagadnień krenologicznych, a także na próbę zdefiniowania licznych pojęć i obiektów krenologicznych.

Sposób przedstawiania zagadnień krenologicznych w literaturze

Zaprezentowany poniżej podział prac o charakterze ogólnym: podręczników, skryptów, przewodników do ćwiczeń (około 40) oraz prac krenologicznych (ponad 130 pozycji) w pierwszej kolejności uwzględnia użycie terminu w tytule pracy, w tytułach rozdziału lub podrozdziału. Drugim kryterium jest treść, a w szczególności: definiowane lub tylko wymieniane formy wypływu wody podziemnej, sposób klasyfikacji (jako źródło lub wypływ) oraz odniesienie klasyfikacji do pozostałych wypływów, a więc zgodność treści z tytułem. W przypadku prac stricte krenologicznych istotne były również zestawienia tabelaryczne, sposoby obliczania np. wskaźnika krenologicznego bądź wydajności (sumarycznie lub dla pojedynczych wypływów).

Analizowane prace można podzielić na kilka grup. Pierwszą grupę stanowią prace, w których tytułach użyto słowa *źródło.* Jest ono traktowane jako wody podziemne wypływające na powierzchnię terenu. Brak wyróżniania innych form wypływu wody może sugerować, że za źródło uważane są wszelkie wody ucho-

dzące z podziemia (głównie w podręcznikach) lub też na obszarze badań nie stwierdzono innych typów wypływów poza źródłami (prace krenologiczne). Termin *źródło* jest często synonimem pojęcia *wypływ*. W części prac definiujących źródło podkreślono jego ograniczony lub punktowy charakter. W kilku pracach znajdują się klasyfikacje i typologie źródeł. Spośród pozycji o charakterze ogólnym należy tu wymienić m.in. prace: Pomianowskiego i in. (1934), Majewskiego (1974), a z prac krenologicznych – Rosłońskiego (1925), Czarneckiej (1960), Dynowskiej (1983), Michalczyka (1999) i in.

Do drugiej grupy można zaliczyć prace, których tytuły również zawierają pojęcie źródła, traktowane jako wody podziemne wypływające na powierzchnię terenu, jednak oprócz nich wyróżniane są także inne formy wypływu wody, nazywane często nieskoncentrowanymi (np. *wyciek*, *wysięk* czy *młaka*), lecz uznawane za podtypy źródeł. Z prac o charakterze ogólnym warto wspomnieć publikację Pietkiewicza (1958), a z prac krenologicznych – Dynowskiej (1986), Maksymiuka i Moniewskiego (2000).

W trzeciej grupie znajdują się także prace z użytym w tytule słowem *źródło*. Jest ono traktowane jako wypływ wody podziemnej, często definiowane jako skoncentrowany, punktowy i/lub ograniczony. Wyróżniane są natomiast inne formy wypływu wody (*wyciek*, *wysięk*, *młaka*, *wykap*, *wylew*) występujące „oprócz źródeł" lub „nie zaliczane do nich"; w przeciwieństwie do źródeł nazywane najczęściej „nieskoncentrowanymi" lub „występującymi na większej powierzchni". Jednak, mimo tego rozróżnienia, dalsze podziały wypływów dotyczą tylko samych źródeł, nie traktując pozostałych wypływów równorzędnie i nie przedstawiając metod typologii wypływów nieskoncentrowanych (głównie w podręcznikach). Grupę tą reprezentują prace: Marchacza (1960), Wieczystego (1970), Kowalskiego (1987), Pazdry i Kozerskiego (1990), zaś z prac krenologicznych – m.in. Tomalaka (1968).

W pracach zaliczonych od grupy czwartej w tytule użyto zwrotu „naturalne wypływy wód podziemnych" lub „występowanie wód podziemnych na powierzchni". Tytuł sugeruje większy nacisk na równorzędne traktowanie wszystkich typów wypływów wód podziemnych, co wyraża się w przedstawianiu różnych form wypływów, „nie zaliczanych do źródeł". W związku z różnicami w podejściu do typologii wypływów, w grupie tej można wyodrębnić dwie podgrupy (dotyczy prac o charakterze ogólnym). W pierwszej podgrupie typologii dokonano tylko w odniesieniu do źródeł, bez podania informacji, co do podziału pozostałych form wypływu. Do tego rodzaju prac należą m.in.: Instrukcja … (1964) oraz podręcznik Bajkiewicz-Grabowskiej i Mikulskiego (1999). W pozostałych pracach podano natomiast informację o zastosowaniu przedstawionej typologii źródeł również do pozostałych form wypływu (m.in. Dynowska, Tlałka 1978).

Kolejną grupę tworzą prace krenologiczne z użytymi w tytule ogólnymi sformułowaniami: „naturalne wypływy wód podziemnych", „strefy kontaktu wód gruntowych i powierzchniowych" lub „strefy wypływu wód gruntowych na powierzchnię". Wymieniane są w nich źródła oraz wypływy nieskoncentrowane, które są jednak zestawiane jako źródła. Zamiennie używane są terminy *źródło* i *wypływ* (m.in. praca Maksymiuka 1977).

Ostatnią grupę tworzą prace, w których obiektem stanowiącym podstawę wszelkich podziałów i klasyfikacji jest sam wypływ wody podziemnej. W ich tytułach posłużono się określeniami: „naturalne wypływy wód podziemnych", „występowanie wód podziemnych na powierzchni" lub „warunki krenologiczne", natomiast w treści wyróżniane są różne formy wypływu wody. Warto zauważyć, że dokonane klasyfikacje dotyczą wypływów wody podziemnej, a nie źródeł, jak to było we wszystkich poprzednich grupach. Z prac o charakterze ogólnym grupę tę reprezentuje m.in. publikacja Tomaszewskiego (1989), a z prac krenologicznych – Waksmundzkiego (1971b).

Podstawowe typy wypływów wód podziemnych

Niezależnie od tego, jakie terminy i pojęcia użyte są w tytułach i czy konsekwentnie odpowiada im treść, w większości prac zarysowuje się wyraźny podział wypływów wód podziemnych na skoncentrowane oraz na nieskoncentrowane, nawet jeśli były one typami źródeł.

Za podstawowy wypływ wody podziemnej, najczęściej określany jako skoncentrowany, uważane jest *źródło*. Określenia wyrażające jego odrębny charakter, takie jak: „ograniczony", „punktowy", „który od samego ujścia z warstwy wodonośnej tworzy ukierunkowany odpływ", „skupiony", „linijny", „ześrodkowany" itp. W polskiej literaturze krenologicznej pojawiają się na przełomie lat pięćdziesiątych i sześćdziesiątych ubiegłego stulecia. Wprowadzanie bardziej precyzyjnych określeń obiektów, których sposób wypływu posiadał inne niż wymienione cechy, z pewnością należy wiązać z postępem prac krenologicznych, głównie na obszarze gór i wyżyn Polski i różnorodnością spotykanych tam wypływów. We wcześniejszych pracach (lecz nie tylko) źródłami nazywa się wszystkie wypływy wody podziemnej. W wielu pracach jako źródła traktowane są również pewne specyficznie umiejscowione strefy wypływów, chociaż w tych samych pracach podkreśla się często ich odrębny charakter.

W literaturze krenologicznej na ogół przyjmuje się trzy zasadnicze rodzaje nieskoncentrowanych wypływów wód podziemnych (rzadziej nazywanych rozproszonymi lub warstwowymi): *wycieki*, *wysięki* i *młaki*. Natomiast znacznie rzadziej wymieniany jest *wykap*. Terminy te wprowadzono do polskiej literatury tematu stosunkowo późno.

Wyciek najczęściej definiowany jest jako nieskoncentrowany, bardzo słaby, przeważnie powierzchniowy (rzadziej liniowy) wypływ wody podziemnej, dający widoczny odpływ na zewnątrz. Z kolei *wysięk* to głównie miejsce słabego powierzchniowego sączenia wód podziemnych, bez widocznego odpływu na zewnątrz. Wysiękiem nazywane są ponadto obiekty posiadające odpływ, zwykle przy braku wyróżniania wycieków. Termin ten używany jest m.in. przez Pietkiewicza (1958) oraz Michalczyka (1999) w stosunku do wypływów rozproszonych.

Młaka jest definiowana najczęściej jako rozlewny, zabagniony lub zatorfiony wypływ, powstający w miejscach, gdzie słabe nachylenie terenu powoduje powolny odpływ wody, sprzyjający sukcesji roślinnej i gromadzeniu się jej szczątków. Wieczysty (1970) uznaje młakę (za Pietkiewiczem 1958), obok wysięku, za podtyp *źródliska*, czyli wypływ bez koncentracji strumienia, złożony z kilku wysięków tworzących mokradło. Natomiast w Słowniku hydrogeologicznym (2002) młaka jest jedynie synonimem podmokłości.

Wykapem (wypływem kroplistym) jest określany rodzaj wycieku, w którym woda skapuje kroplami, zwykle po stromych zboczach skalnych na obszarach górskich. Ten typ wypływu wyróżniają jedynie: Waksmundzki (1971a), Tomaszewski (1989), Pazdro i Kozerski (1990) oraz Bajkiewicz-Grabowska i Mikulski (1999).

Podane typy naturalnych wypływów wód podziemnych zostały wydzielone głównie na podstawie różnic w sposobie wypływu wody na powierzchnię. Kilku autorów za kryterium identyfikacji wypływu przyjmuje jednak jego wielkość, wyrażaną bądź rozmiarem bądź wydajnością. „W odniesieniu do wypływów dużych pod względem wydajności" Janiec (1992) stosuje termin *źródlisko*. Z kolei Tomalak (1968) za źródło uważa „wypływ charakteryzujący się nieprzerwaną wydajnością w ciągu roku", a Nowakowski (1976) – „wypływ wody podziemnej o minimalnej wydajności 2,5 l/min".

Wypływy występujące grupowo

W literaturze często można odnaleźć stwierdzenie, że naturalne wypływy wód podziemnych (rozumiane najczęściej jako źródła) występują nie tylko pojedynczo, ale także: „grupowo", „zespołowo", „gromadnie", „w skupieniu", „w strefach", „tworząc ciągi". Istnieje ponad 20 określeń, które nie zawsze precyzyjnie oddają charakter występujących w tej formie obiektów. Terminem najczęściej podawanym w literaturze jest *linia źródeł*, którą są nazywane np. „źródła uszeregowane wyraźnie wzdłuż jakiejś linii" (Pazdro, Kozerski 1990), „źródła występujące grupowo" (Słownik hydrogeologiczny 2002), ale i „grupa wycieków układająca się w dół, zgodnie z biegiem form, lub położonych obok sie-

bie" (Maksymiuk 1977). Innymi terminami dla grupowo występujących źródeł lub wypływów są np.: *zespół źródeł* (Rederowa 1971), *strefa źródeł* (Kowalski 1983), *źródła* (*źródło*) *rozproszone* (Wieczysty 1970) czy *grupa źródeł* (Kowalski 1975). Dla wycieków występujących w grupach stosuje się analogiczne terminy: *wycieki liniowe* (Gładysz 1976), *linia wycieków* (Michalczyk 2001), *zespół wycieków* (Chełmicki 1986) oraz *powierzchnia wycieków* (Tomaszewski 1971). Dla grupowo funkcjonujących młak, zajmujących znaczną powierzchnię, istnieje termin *pole młaczne* (m.in. Pazdro, Kozerski 1990; Tomaszewski 1989), natomiast dla skupiska wysięków: *obszar wysięków* (Kowalski 1983) oraz *strefa wysięków* (Alexandrowicz, Wilk 1962). Istnieje również szereg terminów nie precyzujących, przynajmniej w samej nazwie, typ wypływów tworzących strefy. Należy do nich np.: *linia wypływów* „złożona ze źródeł różnej wielkości" (Rederowa 1971) i „wysączanie się lub wypływ wody w postaci na przemian występujących wypływów różnych typów" (Waksmundzki 1971a) czy *zespół wypływów* (Dynowska 1986).

Do powyższej grupy tej należy też termin *źródlisko*, stosowany dla stref wypływów o bardzo różnych cechach. Mianem tym określa się: „duże, niedostępne, zabagnione obszary" (Czarnecka 1967), „wypływ bez koncentracji strumienia (wysięk, młaka)" (Wieczysty 1970), „kilka lub kilkanaście źródeł występujących blisko obok siebie, tworzące zespół" (Pazdro, Kozerski 1990) czy „wypływy o dużych wydajnościach" (Janiec 1992). Źródlisko jest derywatem innych terminów takich jak np.: *obszar źródliskowy* (m.in. Słownik hydrogeologiczny 2002; Kowalski 1983) czy *zespół źródliskowy* (Janiec 1992). Rzadko wymienianym zespołem wypływów jest *wylew*. Wymienia się go najczęściej obok innych, nieskoncentrowanych wypływów (młak, wycieków), określając tym terminem kierunkowy wypływ wody podziemnej, w którym woda wycieka lub pulsuje w rożnych punktach na dnie obniżenia o kształcie koryta na długości od kilku do kilkudziesięciu metrów (Marchacz 1960; Kowalski 1987). Powyższe określenia wskazują na zespołowy charakter wylewu. Cechy tej nie można jednoznacznie stwierdzić np. w pracy Dynowskiej (1983), zdaniem której „wiele źródeł można zaklasyfikować jako wylewy wody podziemnej".

Jako ostatni termin dla zespołu wypływów, można wymienić samo *źródło*. Na Wyżynie Lubelskiej i Roztoczu „za jedno źródło przyjęto wszystkie wypływy w obrębie jednej niszy źródliskowej, nawet w przypadkach, gdy powierzchnia jej wynosiła kilkadziesiąt metrów kwadratowych" (Rederowa 1971). Źródłem jest też „linia wypływów szczelinowych na odcinku kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu metrów", bowiem „często zdarza się, że obok dużego źródła istnieją odrębne małe wypływy" (Michalczyk 1982). W podobny sposób pojmowane jest np. źródło w Zaporzu, jako zespół źródeł zarówno descensyjnych i ascensyjnych,

„najwydajniejsze źródło Wyżyny Lubelskiej i Roztocza" (Janiec, Michalczyk 1988), czy źródło Rosanów I – linijnie układające się wypływy w dnie niszy, „najwydajniejsze źródło w środkowej Polsce" (Maksymiuk, Moniewski 2000).

W wielu pracach, poza terminami: *linia źródeł*, *zespół źródeł* lub *źródlisko* nie są podawane odrębne nazwy dla zespołów wypływów, na które składają się, oprócz źródeł, inne typy wypływów (m.in. Słownik hydrogeologiczny 2002), pomimo dokonanego w nich podziału na wypływy skoncentrowane i nieskoncentrowane. Istnieją ponadto prace, w których zespoły wypływów nie są wcale zauważane (m.in. Bajkiewicz-Grabowska, Mikulski 1999).

Kolejnym problemem, interpretowanym do tej pory w różny sposób, jest dobór kryteriów decydujących o traktowaniu wypływów osobno lub uznaniu ich za strefę. Zaledwie w kilku pozycjach literatury można znaleźć wskazówki (np. odległości), decydujące o zaliczeniu położonych w sąsiedztwie wypływów do jednej strefy. Nigdzie natomiast nie jest podana konkretna liczba wypływów, która stanowiłaby dolną granicę uznawania ich strefę. Według Tomalaka (1968) linią źródeł można określać wypływy ciągnące się na przestrzeni do 15 m. Waksmundzki (1971a) za linię źródeł lub wypływów uznaje położenie ich w odległości do około 1 m względem siebie. W Instrukcji … (1964) linią źródeł określa się wypływ kilku źródeł na długości kilku metrów. Zespołem źródeł Michalczyk (1982) nazywa linię wypływów szczelinowych na odcinku kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu metrów. Dla wielu badaczy stosowanym kryterium jest położenie wypływów w jednej niszy (m.in. Rederowa 1971; Michalczyk 1999; Moniewski 2004), posiadających dzięki temu wspólny odpływ. Jak już wskazano wcześniej, takie niszowe zespoły wypływów bywają nazywane jednak źródłami.

Zagadnienia krenologiczne w literaturze hydrobiologicznej

W tytułach prac hydrobiologicznych, podobnie jak w pierwszej, przedstawionej już grupie prac z hydrologii i hydrogeologii, używa się terminu *źródło*, natomiast w ich treści nie wyróżnia się innych typów wypływów (m.in.: Mikulski 1974; Starmach i in. 1976). Takie ujęcie problemu wynika z definiowania źródła jako wszystkiego, co uchodzi z podziemia, wprowadzonego przez Thienneman-na w 1925 roku (za Wołejko 1999), który dla rozróżnienia odmiennych sposobów wypływu zaproponował (przyjety później) podział źródeł na trzy podstawowe typy: *reokreny*, *limnokreny* i *helokreny*. *Reokrenem* nazywa się źródło, w którym woda strumieniem wypływa i odpływa wzdłuż nachylenia terenu. *Limnokren* stanowi nieckowate zagłębienie wypełniające się wodą od dna. *Helokren*, zwany inaczej źródłem bagiennym, powstaje, gdy woda przesącza się od dołu przez warstwę ziemi i tworzy podmokłe, zarośnięte „bagnisko" (Wołejko 1999). Autorzy Słownika hydrobiologicznego (2002) źródłem nazywają, podobnie jak

w hydrologii czy hydrogeologii, wypływ skoncentrowany, mimo że helokren (wypływ warstwowy), nie spełnia tego warunku. Ponadto podają oni również termin *źródlisko* na określenie naturalnej formy wypływu wód podziemnych na powierzchni terenu o charakterze stałej młaki, z wyraźnie wykształconą niszą źródliskową, lecz o znacznych wydajnościach. Nie zamieszczają jednak definicji młaki, trudno więc jednoznacznie stwierdzić, czy termin źródlisko odnosi się do pojedynczego obiektu czy zespołu wypływów?

Warto zauważyć, że autorzy prac hydrobiologicznych podejmujący problematykę źródeł, często przytaczają terminy zaczerpnięte z hydrologii i hydrogeologii, jak np. wyciek czy młaka, które nie są zaliczane do źródeł (m.in. Herbich 1998; Lewandowski 1999). Praktyka ta kłóci się z hydrobiologicznym pojmowaniem źródeł, jako jedynych obiektów uchodzących z podziemia. Ponadto w pracach tych pojęcia źródła i źródliska są używane zamiennie, a także wprowadzane są liczne terminy z przymiotnikiem *źródliskowy* (ekosystem, obszar, kompleks, zjawiska).

Przyczyny i skutki braku jednolitej terminologii krenologicznej

W analizowanych pracach krenologicznych występuje różnorodność stosowanych terminów i pojęć, wśród których można wskazać wiele niejasności, wynikających głównie z niekonsekwencji używanych terminów. Najczęściej spotykane to:

- definiowanie źródła raz jako ogółu wypływów wody podziemnej, raz jako obiektu o skoncentrowanym charakterze;
- uznawanie wypływów nieskoncentrowanych jako rodzaju źródeł, przy jednoczesnym wskazywaniu na ich odrębny charakter;
- używanie w tytułach prac terminu *źródło*, a równocześnie wymienianie w ich treści także innych wypływów;
- odnoszenie klasyfikacji tylko do źródeł, mimo opisywania również wypływów nieskoncentrowanych;
- wyróżnianie podstawowych typów, a jednocześnie brak terminów dla zespołów wypływów;
- wieloznaczność terminów (zarówno w obrębie tej samej, jak i w różnych dziedzinach);
- odmienne kryteria wyróżniania pojedynczych wypływów i ich zespołów.

Wydaje się, że przyczyny takiego stanu rzeczy należy upatrywać przede wszystkim we wpływie języka potocznego na język naukowy. Przy dużym zróżnicowaniu form wypływów, występujących pojedynczo lub zespołowo, łatwo popada się w wieloznaczności, powodując zamęt terminologiczny. Wynika to głównie z faktu, iż w polszczyźnie mocno są zakorzenione i powszechnie stoso-

wane takie słowa jak *źródło* czy *woda źródlana*, które przywołują jednoznaczne skojarzenia. Zresztą dotyczy to również samych nauk przyrodniczych, w których pierwotnie termin *źródło* obejmował wszystkie wypływy wód podziemnych. Zwyczaje językowe powodują więc, iż precyzyjne terminy i znaczenia, wprowadzane w język naukowy zacierają się. Ponadto, terminy te mają często swój rodowód w języku gwarowym (np. młaka, w gwarze góralskiej – miejsce bagniste), co dodatkowo utrudnia przenoszenie ich znaczeń do języka naukowego. Na te mechanizmy nakładają się dodatkowo różnice w świadomości językowej badaczy, używających słownictwa o znaczeniu utrwalonym w kręgu rodzinnym, związanym z regionem zamieszkania czy ze środowiskiem naukowym. Bez wątpienia, do pogłębienia się istniejącego stanu przyczynia się praktyka badaczy, którzy świadomi zróżnicowania form wypływów, „dla skrócenia opisu" (Wieczysty 1970) czy „dla pewnego uproszczenia" (Łoszewski 1995), operują tylko określeniem źródła. Poza pragmatycznym skracaniem terminu *naturalne wypływy wód podziemnych* i używaniem nazwy źródła, nie ma to merytorycznego uzasadnienia.

Skutki braku usystematyzowanej, jednolitej terminologii krenologicznej oraz oddziaływanie wskazanych mechanizmów natury językowej można odnaleźć w różnych aktach prawnych, które zawierają sformułowania odnoszące się wyłącznie do źródeł. Należą do nich m.in.: Ustawa o ochronie przyrody z dnia 16 kwietnia 2004 r. (Art. 40.1.: „Pomnikami przyrody są (...) źródła"), czy Ustawa Prawo wodne z dnia 18 lipca 2001 r. (Art. 5.1.3.: „Śródlądowe wody powierzchniowe dzielą się na: 1) płynące – w ciekach naturalnych, kanałach oraz w źródłach, z których cieki biorą początek"). Kolejnym przykładem są nazwy rezerwatów przyrody, w których pominięto naturalne wypływy wód podziemnych: „Źródliska Flinty", „Łęgi źródliskowe koło Przemkowa".

Różnorodne pojmowanie terminów w naukach przyrodniczych (często w obrębie tej samej dziedziny) ma swój wyraz również w definicjach encyklopedycznych i słownikowych, które zależą od wykorzystanej bibliografii. Dla przykładu: termin *źródło* w części opracowań jest naturalnym wypływem wody podziemnej, chociaż obok niego wymienia się inne typy wypływów. W innym przypadku źródłem jest skoncentrowany wypływ, chociaż terminów wypływów nieskoncentrowanych w nich nie znajdujemy.

Konsekwencją istniejącego stanu rzeczy jest własna interpretacja badaczy, którzy nie znajdując w literaturze odpowiednich określeń do scharakteryzowania obserwowanych obiektów, tworzą całkiem nowe terminy. Przed takim problemem stanął również autor, chcący dokonać ilościowego opisu naturalnych wypływów wód podziemnych w zachodniej Wielkopolsce.

Podsumowanie

Analiza polskiej literatury krenologicznej pod kątem definiowania poszczególnych typów wypływów, skłania do uznania istniejącej terminologii za mało precyzyjną i niekompletną. Stwierdzenie to jednakowo dotyczy określeń wypływów wód podziemnych występujących pojedynczo lub zespołowo, jak i nazewnictwa ściśle związanego z tą dziedziną, których szczegółowy opis przekracza ramy niniejszego rozdziału. Krenologia, definiowana jest jako nauka badająca i klasyfikująca źródła, a nie naturalne wypływy wód podziemnych. Z kolei, wodą źródlaną (źródliskową), nazywa się zarówno tę wypływającą z typowych źródeł, jak również z wypływów nieskoncentrowanych. Usystematyzowanie definicji tych i pozostałych terminów wymaga jednak, w pierwszej kolejności, ujednolicenia terminologii podstawowych typów wypływów wód podziemnych występujących pojedynczo lub grupowo.

Warto zatem zwrócić uwagę krenologów na rozliczne problemy braku jednolitej terminologii krenologicznej. Odpowiedzią na nie powinno być podjęcie stosownych działań dla stworzenia precyzyjnej, uwzględniającej dotychczasowe osiągnięcia, terminologii krenologicznej. Własną propozycję jej uporządkowania autor przedstawi w odrębnej publikacji.

Summary

Selected problems of Polish terminology of springs

The chapter presents a variety of attitudes that Polish researchers present in respect to the issue of springs, as well as it characterizes the diversity and multiplicity of meanings of the terminology concerning the discipline of springs. First, it finds its expression in defining springs either as all places where water naturally flows out from the ground, or only as a spot of a concentrated natural water outflow. Secondly, considering unconcentrated outflows as a category of springs and at the same time marking their distinct character. Third, using terms in items titles and simultaneous listing outflows which are not springs in the body of the text. Fourth, categorizing springs and simultaneous describing unconcentrated outflows. Fifth, distinguishing basic types of outflows and the lack of terminology for the groups of these outflows. Sixth, the ambiguity of terms and seventh, different criteria of distinguishing single outflows and groups of such outflows.

There are many reasons, mainly linguistic, which determine terminological ambiguity and inconsistency in naming concepts, and the lack of coherence in argumentation. Summary of this chapter is to bring spring researchers' attention to the existing problem of the lack of standardized spring terminology. The chapter also attempts to encourage to undertake a proper action to establish a careful, precise spring terminology.

Zdzisław Michalczyk
Zakład Hydrografii, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie
20-033 Lublin, ul. Akademicka 19, michaz@biotop.umcs.lublin.pl

2.3. Źródła w badaniach geograficznych

Jednym z zadań geografii jest rejestracja, opis i analiza przestrzenna zjawisk przyrodniczych, ekonomicznych i społecznych. Badania geograficzne, w tym również terenowe, dotyczą realnych podmiotów, rozciągających się w czasie i przestrzeni. Obszar badań geograficznych jest postrzegany jako zbiór obiektów, które mają określone właściwości. Odkrywanie prawidłowości rządzących ich lokalizacją, funkcjami i strukturą jest jednym z głównych zadań poznania geograficznego (Degórski 2006). Wśród tych obiektów bardzo ważną pozycję zajmują naturalne wypływy wód podziemnych, o których różnej rangi informacje i opracowania pojawiają się od kilku stuleci.

Geografia fizyczna i związane z nią nauki koncentrują się na opisie zjawisk oraz mechanizmów wymiany energii i obiegu materii, a także na analizie ich efektów w kształtowaniu środowiska i struktury przestrzennej krajobrazu. W poznawaniu środowiska stosują wiedzę wszystkich nauk przyrodniczych, a także historycznych i fizycznych. Badania geograficzne zmierzają do określenia stanu poszczególnych komponentów środowiska, a jednocześnie podejmują ocenę procesów i relacji, jakie między nimi zachodzą. W ostatnich latach, tradycyjne metody badań są skutecznie uzupełniane informacjami zawartymi na zdjęciach lotniczych i satelitarnych, bardzo przydatnymi przy rejestracji wypływów wód podziemnych. Należy podkreślić, że geografia jako przedmiot nauczania ma ogromne walory poznawcze, praktyczne i wychowawcze, ma pomóc zrozumieć sens, przyczynę istnienia oraz rolę obiektów i zjawisk w środowisku przyrodniczym. Informacje te wpływają konsolidująco i mobilizująco na lokalne społeczności, skutecznie pomagają w kształtowaniu postaw patriotycznych i pozytywnych działań na rzecz własnych „małych ojczyzn".

Woda jest szczególnym podmiotem badań terenowych. Bierze ona czynny udział niemal we wszystkich procesach naturalnych zachodzących w środowisku, a przez to analizowane i opisywane są wszystkie formy jej występowania. Ilość i jakość wody oraz sezonowe i roczne zróżnicowanie decydują o charakterze krajobrazu oraz wpływają na możliwości rozwoju gospodarczego. W końcowej fazie podziemnego obiegu wody pojawiają się jej wypływy na powierzchnię

topograficzną. Mają one formę skoncentrowaną, czyli źródeł, lub nieskoncentrowaną, nazywaną źródliskami (młaki, wycieki i wysięki). Ponadto, woda podziemna może się jeszcze wydobywać na powierzchnię w mokradłach i bagnach, a także dopływać do rzek poprzez bezpośredni drenaż korytowy. Wszystkie te obiekty powinny być zarejestrowane w czasie badań stosunków wodnych, sporządzania szczegółowych map hydrograficznych oraz wykonywania opracowań fizjograficznych i planów zagospodarowania przestrzennego.

Występowanie, rozmieszczenie, liczba i wydajność źródeł oraz ich reżim i rola w zasilaniu rzek, są ważnymi wskaźnikami hydrogeologicznymi, charakteryzującymi zasobność wodną oraz warunki obiegu wody w podziemnej fazie jej krążenia. Różnorodne aspekty związane z możliwością uzyskania informacji naukowej o terenie sprawiają, że źródła są obiektami zainteresowania wielu dyscyplin naukowych. Najwięcej uwagi poświęcają im: geografia, hydrologia, hydrogeologia, hydrochemia, hydrobiologia, ekologia, ochrona środowiska, architektura krajobrazu, krajoznawstwo, archeologia i etnografia. Specjalistyczne piśmiennictwo dotyczące źródeł nie jest jednak zbyt obszerne. Natomiast dość często pojawiają się informacje, czasami lakoniczne, o konkretnych obiektach. Zestawienie prac dotyczących wypływów wód podziemnych oraz rozmieszczenia źródeł na terenie Polski zostało przedstawione między innymi w opracowaniach: Dynowskiej (1986), Michalczyka (2001), Baścik i Chełmickiego (2004) oraz Moniewskiego (2004).

Publikowane informacje o źródłach w Polsce pojawiają się od połowy XIX wieku. Są to opracowania różnego typu, od notatek naukowych do ujęć monograficznych. Najstarsze wiadomości o źródłach związane były przeważnie z opisem terenu lub dotyczyły wypływów wód uznanych za lecznicze. W połowie XIX wieku ukazały się artykuły Zejsznera dotyczące temperatury wód źródeł tatrzańskich i źródeł w dolinie Ojcowa (1844, 1860) oraz prace Pusza podejmujące zagadnienia termiki wód źródlanych okolic Krakowa i Warszawy (1844, 1845). Od połowy XIX wieku ukazują się już opracowania dotyczące wód mineralnych i źródeł wypływających w południowej części kraju. Wśród wielu prac na szczególną uwagę zasługują ujęcia monograficzne dotyczące źródeł bijących w Galicji (Torosiewicz 1849; Szajnocha 1891). Tego regionu dotyczy też syntetyczne opracowania określające położenie i cechy podreglowych źródeł północnego skłonu Tatr (Świerz 1887; Kowalski 1920).

Na początku XX pojawiły się informacje o źródłach obszarów wyżynnych Polski. Dotyczyły one źródeł okolic Lublina (Doborzyński 1896), źródeł Przemszy i Szreniawy (Przesmycki 1921) oraz Błękitnych Źródeł koło Tomaszowa Mazowieckiego (Lewiński 1933). Pod koniec lat czterdziestych ubiegłego wieku Gołąb (1947) scharakteryzował źródła okolic Krzeszowic, a Kobędzina (1949) przedstawiła informację o bardzo interesujących źródliskach Łyny.

Wprowadzenie i upowszechnienie, w ośrodkach uniwersyteckich, metody kartowania hydrograficznego, wykonywanego w ramach prac badawczych służących opracowaniu Mapy Hydrograficznej Polski w skali 1:50 000 zwiększyło zainteresowanie naturalnymi wypływami wód podziemnych. Kartowanie hydrograficzne, jako metoda pozyskiwania danych terenowych, dało nowy impuls do zbierania informacji o źródłach. Ich znaczenie zostało bardzo mocno podkreślone w dyskutowanej, w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku, instrukcji do tej mapy (Instrukcja … 1964). Zostały w niej przedstawione metody rejestracji, opisu i badań wypływów wód podziemnych. Informacje o źródłach stanowiły część charakterystyki stosunków wodnych, analizowanych w powiązaniu z innymi komponentami środowiska. Metoda kartowania hydrograficznego została także przedstawiona w przewodniku do terenowych badań hydrograficznych (Gutry-Korycka, Werner-Więckowska 1996) oraz w technicznych wytycznych do przygotowania nowej Mapy Hydrograficznej Polski (Drwal i in. 1997).

W instrukcjach tych, pomiary wydajności źródeł i przepływów rzek stanowiły podstawę do oceny wielkości zasilania gruntowego oraz znaczenia źródeł w tworzeniu odpływu rzecznego. Wdrożenie kartowania hydrograficznego zaowocowało też pojawieniem się licznych opracowań dotyczących źródeł górskich: Karpat (Pawlik-Dobrowolski 1965; Waksmundzki 1971) i Tatr (Ziemońska 1960; Wit, Ziemońska 1960), jak i wypływów z obszarów wyżynnych (Rederowa 1965; Wilgat 1968; Duszyńska 1969; Kleczkowski 1971 i inni). Kilka lat później ukazały się: prace dotyczące rozmieszczenia i reżimu źródeł Małopolski (Czarnecka 1973, 1975), pierwsze monograficzne opracowanie krenologiczne Karkonoszy (Tomaszewski 1977) oraz wyniki badań źródeł Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej i Wyżyny Miechowskiej (Drzał, Dynowska 1981, 1982; Dynowska 1983), Niecki Nidziańskiej (Chełmicki 1986) oraz Wyżyny Lubelskiej i Roztocza (Rederowa 1971; Janiec 1972; Michalczyk 1979, 1986).

Pod koniec XX wieku badania źródeł zostały ponownie zintensyfikowane we wszystkich ośrodkach geograficznych. Dotyczyły one zarówno rozmieszczenia i wydajności źródeł, cech fizykochemicznych i biologicznych oraz reżimu hydrologicznego i hydrochemicznego. Pewien impuls do dalszych badań wniosły dwie konferencje zorganizowane w 1996 r. poświęcone badaniom źródeł: hydrologiczna − w Łodzi „*Źródła, ich rola w środowisku i znaczenie w gospodarce wodnej*" i hydrobiologiczna w Olsztynie „*Źródła Polski, stan badań, monitoring i ochrona*". Na konferencjach pojawiły się liczne prace dokumentujące występowanie źródeł praktycznie na terenie całej Polski, a co najważniejsze – informacje i wyniki badań wydajnych źródeł w niżowej części kraju. Obie konferencje zdecydowanie przyczyniły się do wzrostu zainteresowania badaniami źródeł – w różnych aspektach: hydrologicznym, hydrochemicznym i biologicznym. Do najważniejszych osiągnięć

ostatniego dziesięciolecia ubiegłego wieku można zaliczyć opracowania regionalne dotyczące źródeł Polski środkowej (Maksymiuk, Mela 1995; Burchard, Maksymiuk 1997), Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej i Miechowskiej (Chełmicki 2001), Wyżyny Lubelskiej i Roztocza (Michalczyk, 1993, 1996, 2001; Michalczyk, Wilgat 1998) i okolic Łodzi (Moniewski 2004 oraz inni).

Inna grupa prac krenologicznych podejmuje zagadnienie reżimu wydajności źródeł. Są one oparte na wieloletnich badaniach stacjonarnych lub systematycznie powtarzanych pomiarach (Michalczyk 1982, 1983a, 1983b, 1986; Janiec, Michalczyk 1991; Michalczyk, Rederowa 1992; Jokiel 1994a, 1997; Małecka 1997b; Jekatierynczuk-Rudczyk 1999a; Wojtkowiak 2000; Michalczyk i in. 2004 oraz inni). Prace te wskazują między innymi na dużą rolę zasilania atmosferycznego w kształtowaniu reżimu wydajności źródeł, a także dokumentują istotną rolę warunków terenowych, stabilizująco wpływających na zmiany (anomalie) warunków meteorologicznych.

Źródła są bardzo ważnym symbolem w przyrodzie i w życiu człowieka. Jest to tym istotniejsze, że woda, która z nich wypływa, najczęściej jest czysta, dobrej jakości i odpowiada normom stawianym wodzie do picia. Niektóre ze źródeł mają swoją historię, a inne uznawane są za miejsca z wodą „świętą", mającą cudowne własności (Rajchel 1997; Wiśniewski 1998; Baścik, Chełmicki 2000; Michalczyk 2001). Źródła dają początek strugom wodnym, tworzą strumienie zasilające rzeki, są miejscami poboru wód podziemnych, mają walory przyrodnicze, krajobrazowe i kulturowe, a wodom niektórym z nich przypisywane są nadzwyczajne właściwości lecznicze i uzdrawiające. Przez wieki były one chronione przed zanieczyszczeniem. Zmiana podejścia do źródeł nastąpiła po doprowadzeniu wody do domów i gospodarstw. Łatwość pozyskiwania dobrej jakości wody wodociągowej doprowadziła do zapominania o naturalnych wypływach, w których woda ma nierzadko wyższą jakość od dopływającej rurami. W obecnym świecie, człowiek nie dbając o środowisko, w tym również o jakość wody, nie dba o jakość własnego życia.

W języku polskim określenia przypisywane źródłom mają jednoznacznie pozytywne znaczenie: *źródełko, krynica, zdrój, stok,* a odpływające wody nazywane są: *ruczaj, strumień, potok, struga*. Są to miejsca występowania naturalnych wód o bardzo dobrej jakości. Kopaliński, w Słowniku symboli, pod hasłem „źródło (krynica, zdrój)" podaje: „Źródło symbolizuje prawdę, świadomość duchową, mądrość, erudycję, rozsądek, sprawiedliwość, wrażliwość, obraz duszy, wyrocznię, wolę ludu, natchnienie poetyckie, zapomnienie, pamięć, Boga, pokutę, radość, gorycz, życie, siłę życiową, wieczny żywot…" (2001). Źródło tkwi w naszej świadomości jako coś, co ma wartość niezwykłą, co jest początkiem wszystkiego, coś z czego czerpiemy inspirację. Natomiast „woda" jest według

tego autora „symbolem: chaosu, niestałości, zmienności, przeobrażenia, rozpuszczania się, bezmiaru możliwości, uzdrowienia, źródłem życia, odrodzenia ducha i ciała, zmartwychwstania, potęgi..." (Kopaliński 2001).

Źródła występują w miejscach, w których powierzchnia topograficzna przecina warstwę wodonośną lub statyczne zwierciadło wody podziemnej. Wokół źródeł wykształciła się specyficzna roślinność, wskazująca na inne warunki siedliskowe, w tym również stałą obecność wody. Czynniki geologiczne decydują w głównej mierze o warunkach przepływu wody (krążenia) w obiegu podziemnym oraz istotnie decydują o składzie chemicznym wód. Naturalna woda podziemna jest praktycznie pozbawiona składników pokarmowych, natomiast zawiera sole mineralne charakterystyczne dla danego środowiska. Czas obiegu wód w górotworze, w tym również czas infiltracji, uzależniony jest od przepuszczalności skał, od miąższości strefy aeracji oraz od odległości strefy drenażu (źródła) od obszaru zasilania. Jego wielkość wzrasta wraz ze zwiększaniem się grubości strefy aeracji oraz odległości między strefą zasilania i miejscem wypływu wody.

Warunki przyrodnicze sprawiają, że najwięcej źródeł jest w górach, ale ich wydajność zwykle nie jest tam duża (z wyjątkiem Tatr Zachodnich). Liczba źródeł często pozostaje w wyraźnym związku z rozcięciem terenu, warunkami klimatycznymi i przepuszczalnością skał. Licznemu występowaniu źródeł sprzyja zróżnicowana rzeźba terenu, naprzemianległe ułożenie warstw słabo i dobrze przepuszczalnych oraz względnie wysokie zasilanie atmosferyczne. Natomiast największe wydajności osiągają źródła na obszarach krasowych, w których istnieją wypływy zwane wywierzyskami, wyprowadzające na powierzchnię terenu wodę w dużych ilościach. Do niedawna uważano, że na obszarach niżowych źródła występują rzadko, a ich wydajności są zwykle niewielkie (Mikulski 1963; Pazdro 1983; Dynowska 1991). Na obszarach, gdzie w strefie aeracji występują utwory słabo przepuszczalne, źródeł jest znacznie mniej, niż na obszarach zbudowanych w stropie z utworów łatwo przewodzących wodę. Występowanie lub brak źródeł winno być ważną cechą środowiska stosowaną w regionalizacji hydrograficznej i fizyczno-geograficznej obszaru.

Źródła są charakterystycznymi dla danego regionu obiektami, w przeszłości powszechnie wykorzystywanymi do zaopatrzenia w wodę gospodarstw rolnych i wpływającymi na rozwój osadnictwa i gospodarki. Ich występowanie, rozmieszczenie i wydajność jest wykorzystywana przy rozwiązywaniu zagadnień hydrologicznych i hydrogeologicznych oraz dla oceny zasobności wodnej regionu, którą doskonale dokumentuje odpływ gruntowy, czyli ilość wody docierającej do rzek przez źródła lub bezpośredni drenaż korytowy. Pomiary źródeł, a także przepływy rzek w odcinkach źródłowych, wykonane w okresach bezopadowych, doskonale odzwierciedlają wielkość zasilania podziemnego. Związek

ten wykorzystuje się w terenach, w których wody podziemne i powierzchniowe są powiązane hydraulicznie, a więc wydajność źródeł i przepływ rzeczny pozostają w bezpośrednim związku z zasobnością wód podziemnych. Zasilanie podziemne nabiera szczególnego znaczenia w okresach suchych, gdyż wówczas zasilanie źródlane decyduje o wielkościach przepływów w rzekach.

Wody podziemne wypływające w źródłach mają stały kontakt ze skałami, których rodzaj i odporność na rozpuszczanie przejawia się w składzie chemicznym wód. Mineralizacja wody, a także jej skład chemiczny wskazują na rodzaj skał budujących strefę aeracji i saturacji. Zwykle wody pochodzące z głębszych warstw skalnych są silniej zmineralizowane. Najczęściej, w źródłach umiarkowanej strefy klimatycznej, stwierdzamy wody proste, typu: HCO_3−Ca i HCO_3−Ca−Mg, czyli wody naturalne, nie zanieczyszczone antropogeniczne. Różny skład fizykochemiczny wody sprawia, że występują w niej organizmy, którym odpowiada dany typ środowiska. Szczególnie nisze źródlane stanowią swoiste siedliska dla fauny i flory. Jakość wody w źródłach determinuje warunki życia organizmów, niezależnie od etapu ich rozwoju. Konsekwencją zanieczyszczenia wód źródlanych jest proces degradacji warunków życia, zarówno ludzi, jak również zwierząt i roślin.

Woda źródlana pochodząca z głębszych warstw wodonośnych, najczęściej ma stabilne własności fizyczne i chemiczne. Sprzyja to tworzeniu się w obrębie nisz źródliskowych specyficznych warunków siedliskowych. W wielu źródłach notujemy przez cały rok praktycznie stałą temperaturę. W okresie zimy, nisze źródliskowe nie zamarzają, a w lecie są miejscami chłodnymi. Temperatura wody i powietrza decydują więc o istnieniu specyficznych warunków do rozwoju fauny i flory. Dlatego w niszach źródlanych rozwijają się organizmy o szczególnych wymaganiach siedliskowych. Siedliska związane bezpośrednio z wypływem wód podziemnych, w tzw. Dyrektywie Siedliskowej Unii Europejskiej uważane są za bardzo cenne i zyskały rangę europejskiego dziedzictwa kulturowego.

Nisze źródliskowe i tereny do nich przyległe były praktycznie wyłączone z użytkowania. Wyjątek stanowiły tereny odwadniane i meliorowane, w których często następowała radykalna przebudowa miejsca wypływu wody. Fakt, że tereny źródliskowe uznawane były jako miejsca szczególnej ochrony lub obszary trudne do zagospodarowania, zadecydował często o zachowaniu w nich wielu interesujących ekosystemów. Ochronie źródeł sprzyjało też wprowadzenie lasów wodochronnych oraz działań w zakresie ochrony bioróżnorodności. Lasy stanowią doskonały bufor dla ograniczenia negatywnych skutków antropopresji. Zatrzymują zanieczyszczenia dostające się do środowiska.

Źródła obecnie występują praktycznie tylko na terenach wiejskich. Obszary miejskie zostały już skutecznie antropogenicznie przekształcone, a w wielu

aglomeracjach utrzymują się różnej wielkości leje depresyjne, których pojawienie się doprowadziło do zaniku źródeł. Na obszarach wiejskich także następują przekształcenia środowiska dotyczące również warunków występowania i jakości wody, jednakże zwykle zachodzą one znacznie wolniej. Zagrożenia stosunków wodnych wynikają tu raczej ze zmian jakościowych, a nie ilościowych, np. wskutek zaprzestania melioracji odwodnieniowych. Zagrożenie jakości wód na terenach rolniczych wynika z zanieczyszczeń: obszarowych, pasmowych i punktowych, związanych z chemizacją rolnictwa, a także z nieuporządkowaną gospodarką wodno-ściekową terenów wiejskich.

Na obszarach wiejskich degradacji ulegają przede wszystkim wody powierzchniowe, a także płytkie wody podziemne, a więc i wody źródlane. Problem zagrożenia jakości wód podziemnych występuje w wielu krajach. Unia Europejska wprowadziła przepisy nakładające obowiązek budowania przez rolników szczelnych zbiorników na odchody zwierzęce i zakaz stosowania zbyt wysokich dawek nawozów (głównie azotowych). Na obszarach, gdzie jakość wód podziemnych jest zagrożona, wprowadzono także obowiązek przygotowania planów ochrony wód podziemnych.

Proces przekształcania jakości wód podziemnych uzależniony jest od wielu czynników, między innymi od: odporności środowiska, warunków klimatycznych, przepuszczalności gleby i jej zdolności sorpcyjnych, właściwego i terminowego stosowania nawozów, rodzaju szamb i dołów chłonnych. Dla źródeł, zagrożenie stanowi zmiana stosunków wodnych, następująca przez niszczenie nisz źródlanych oraz pojawienie się innych form antropopresji: od prostowania koryt rzecznych i meliorowania dolin, do obniżania poziomu wód przez odwodnienia i eksploatację studni. Zmiana warunków siedliskowych następuje również poprzez: zmiany jakości wody, nieodpowiednie stosowanie nawozów i środków ochrony roślin oraz odprowadzanie ścieków. Dla ochrony wód podziemnych wytypowano na terenie Polski tzw. główne zbiorniki wód podziemnych (GZWP) i określono obszary ich zasilania (Kleczkowski 1990). Analiza wydajności, rozmieszczenia i własności fizykochemicznych wód źródlanych powinna być wykorzystana do ochrony zasobów wód podziemnych. Informacje te mogą spełniać rolę geoindykatorów, czyli wskaźników służących ocenie zmian ilości i jakości wody w środowisku przyrodniczym.

Dla ochrony źródeł, czy ujmując szerzej – ochrony przyrody, proces zanieczyszczenia środowiska musi być zrozumiany i zauważony przez ludność. Obecnie nie każde napotkane źródełko ma wodę bezpieczną, odpowiadającą normom stawianym wodzie pitnej. Konieczne jest powszechne uświadomienie, że jakość wody źródlanej zależy od człowieka, od poziomu gospodarki wodno-ściekowej, rodzaju przemysłu, intensywności rolnictwa i formy składowania odpadów,

a więc od sposobu gospodarowania, wynikającego z finansów i świadomości ekologicznej człowieka.

Na obecnym etapie świadomości bardzo ważna jest edukacja na temat wody i całego środowiska, uwzględniająca też powiązania między poszczególnymi jego komponentami. Powinna ona być realizowana, stosownie do poziomu rozwoju człowieka, na każdym jego etapie i przy możliwie różnych okazjach, już od najmłodszych lat. Edukacja dorosłych koniecznie musi również uwzględniać nawyki ludności oraz stereotypy zachowań wynikające często z braku wiedzy o środowisku.

W podsumowaniu należy podkreślić, że badania źródeł mają znaczenie naukowe i praktyczne, co wiąże się z niepokojącym ubożeniem zasobów hydrosfery i nasilaniem się okresowych deficytów wody w regionie i w kraju. Niezbędne są badania terenowe zmierzające do zarejestrowania obecnej liczby źródeł, ich reżimu wydajności, własności fizykochemicznych wody oraz określenia przyczyn prowadzących do przyspieszonego ich zaniku. Zebrane w ten sposób materiały mogą być też wykorzystane do oceny roli źródeł w tworzeniu odpływu podziemnego, odzwierciedlającego zasoby dynamiczne zbiorników wód podziemnych strefy czynnej.

Z uwagi na stosunkowo silną podatność źródeł na antropopresję, konieczne są systematyczne działania na rzecz zachowania miejsc wypływu wody podziemnej w możliwie naturalnym stanie. Najlepszą formą ochrony źródeł i istniejących w ich niszach specyficznych siedlisk jest przeciwdziałanie zmianom stosunków wodnych w ich zlewniach. Za celowe uznaję też mobilizację geograficznych ośrodków akademickich do podjęcia starań o opracowanie realnego programu inwentaryzacji źródeł, oceny ich walorów przyrodniczych i ochrony.

Summary

Springs in geographical research

Geographical research aim in determination of the state of several natural environment components, and simultaneously they undertake the evaluation of interaction between those components. Water plays special role in the research field because it participates in almost every process holding in the natural environment. Seasonal and annual diversification of water quality and quantity decides about a landscape character and influences possibilities of economic development. Springs, as the places of natural and concentrated outflows from groundwater, give the beginning of rivulets, create streams feeding rivers, and they are places of the water intakes. Springs present special natural, landscape and cultural values. Water in some springs is famous for its healing and therapeutic features. Spring niches are habitats of fauna and flora.

Springs are characteristic objects for individual regions; in the past they were used for farms water supply, and was deciding in a development of settlements and economy. Spring research have both scientific and practical significance. Collected material is used for evaluation of the un-

derground runoff which is constituted by dynamic resources of the main groundwater reservoirs. Scientists also research chemical features of spring waters and their anthropogenic changes. The necessity of the spring research is connected with decreasing of hydrosphere resources and water deficits in the region and in the country. It is necessary to register the number of springs, their regime and yield, physical and chemical features of their water and also to determine reasons of their accelerated decay.

Stanisław Staśko
Zakład Hydrogeologii Podstawowej, Uniwersytet Wrocławski
50-204 Wrocław, pl. M. Borna 9, sstasko@ing.uni.wroc.pl

2.4. Źródła w hydrogeologii; ich znaczenie, metodyka badań i wykorzystanie wyników

Wstęp

Prowadzenie badań hydrogeologicznych na obszarach górskich Sudetów i przedgórskich (wyżynnych) wymaga rejestrowania nie tylko otworów studziennych lecz wszystkich objawów zawodnienia, a szczególnie źródeł. Źródło jako naturalny wypływ (odsłonięcie) wód podziemnych jest odpowiednikiem studni i dostarcza wielu cennych informacji o środowisku i zbiorowisku wód podziemnych. Ich liczba w Sudetach jest wysoka i według różnych szacunków wynosi od 5 do 10 tysięcy. Koszty pozyskania informacji o wodonośności drenowanych formacji w oparciu o badania źródeł są znacznie niższe od kosztów wykonania otworu studziennego. Uważna obserwacja źródeł prowadzi do pozyskania wielu informacji nie tylko o płytkich systemach przepływu wody lecz również mówi wiele o pojemności formacji zbiornikowej oraz głębszym krążeniu wód.

Cel badań hydrogeologicznych

Badania źródeł służą głównie określeniu własności skał zbiornikowych, systemu przepływu i zasobów wód podziemnych. Zgodnie z sugestiami Gołąba (Pazdro, Kozerski 1990), badania te pozwalają na opis zarówno środowiska występowania wód podziemnych, jaki i zbiorowiska wód, które w nim występują. Środowisko źródła charakteryzują: typ skał zbiornikowych, charakter przewodów hydraulicznych, forma wypływu, położenie w przestrzeni geomorfologicznej i hydrodynamicznej, warunki zasilania oraz otoczenie źródła i użytkowanie terenu. Rozpoznając źródło opisujemy nie tylko miejsce wypływu, ale również skały zbiornikowe. Ich litologia warunkuje bowiem sposoby i drogi krążenia wód. W przypadku piasków czy piaskowców będą to systemy kanałów porowych, w przypadku masywnych skał krystalicznych − systemy szczelin, a na obszarach krasowych nie tylko pory i szczeliny, ale również przewody krasowe.

Na obszarach górskich zbiornik porowy pokryw zwietrzelinowych jest często nałożony na głębiej występujący zbiornik o charakterze szczelinowym. Mało zasobne zbiorniki zasilają sączenia, wysięki, bądź punktowe nisze źródliskowe. Zasobne struktury wodonośne manifestują się zwykle wydajnym źródłem, zespołem źródeł lub źródliskiem. Położenie geomorfologiczne nie jest tożsame z pozycją w systemach przepływu wód podziemnych (Freeze, Cherry 1979; Szymanko 1980). Podczas gdy źródła stokowe czy wierzchowinowe często uwalniają wody płytkiego, lokalnego systemu przepływu to wypływy dolinne mogą drenować zarówno płytkie systemy lokalne, jak i głębokie regionalne strefy zawodnione, co zdarza się częściej.

Dla formowania się zasobów wody, jaki i dla jej jakości, ważne jest także otoczenie źródła, sposób zagospodarowania terenu oraz wielkość presji związanej z działalnością człowieka. Zarówno rozległa eksploatacja, jak i wprowadzanie nadmiernych ilości substancji związanych z działalnością rolniczą i przemysłową, prowadzi do zmian zasobowych, jak również przemian jakości wód. Wody zgromadzone w skałach określane są jako zbiorowisko wód podziemnych. W punkcie wypływu charakteryzujemy je poprzez: wydajność z jaką zachodzi odwadnianie sytemu, temperaturę wód wypływających, ich skład chemiczny i izotopowy oraz zmiany tych właściwości. Istotne jest również czy są one wykorzystywane i sposób ich ujęcia.

Wydajność jest miarą pojemności zbiornika i potencjalnego wykorzystania dla zaopatrzenia ludności. Zmienność natężenia wypływu sygnalizuje podatność na krótkoterminowe zamiany zasilania. Wahania temperatury wód powyżej 2ºC i więcej wskazują na płytkie krążenie, podczas gdy stabilna temperatura, wyraźnie wyższa od średniej rocznej temperatury powietrza − na dobrą izolację i głębsze krążenie wód podziemnych.

Dysponując stacjonarnymi lub okresowymi pomiarami wydajności wypływów i stosując prosty aparat obliczeniowy można uzyskać wiarygodne informacje o zawodnionej formacji czy drenowanej zlewni i ich zasobach. Przy czym, jak wykazują doświadczenia, dla określenia zasobności wystarczające są pomiary w cyklu 3−4 tygodni czyli 10−12 pomiarów w roku. Aparat obliczeniowy do obliczeń obejmuje wzory podane przez Pazdro i Kozerskiego (1990) oraz Castanego (1972):

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha \cdot t} \tag{8}$$

$$\alpha = \frac{\lg Q_0 - \lg Q_t}{0{,}4343 \cdot t} \tag{9}$$

$$W = \int_{t_0}^{\infty} Q_0 \cdot e^{-\alpha \cdot t} dt = \frac{86{,}4 \cdot Q_0}{\alpha} \tag{10}$$

$$dW = \frac{W}{A} \tag{11}$$

gdzie: Q_t – wydajność po czasie t [$dm^3 \cdot s^{-1}$], Q_0 – wydajność w czasie t_0 [$dm^3 \cdot s^{-1}$], t – czas, w który wydajność zmieniła się od Q_0 do Q_t [d], α − współczynnik wysychania (recesji), W – potencjał zasobności [m^3], dW – wskaźnik zasobności [m], A – powierzchnia zlewni [m^2].

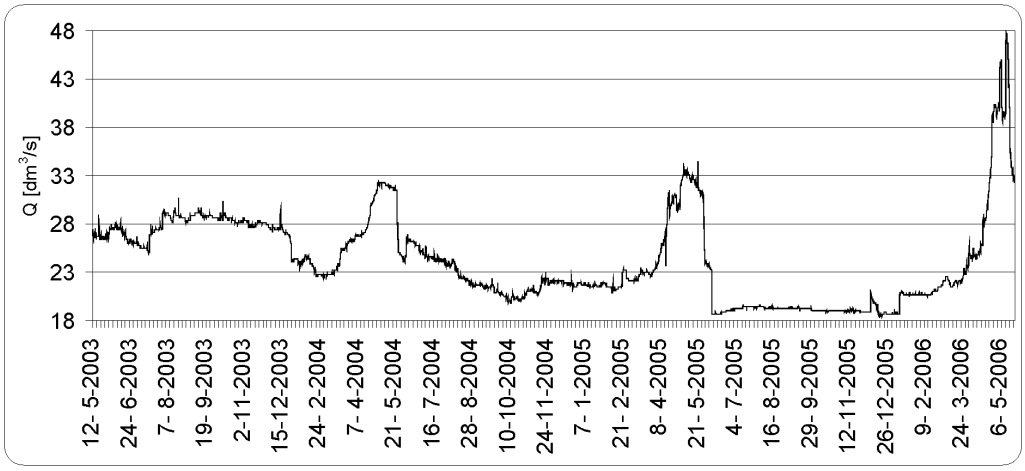
Metodyka badań i wyniki

Podstawową metodą badawczą źródeł jest kartowanie hydrogeologiczne z zastosowaniem techniki GPS. W czasie terenowych badań szczególnie ważne są pomiary jak najbliżej miejsca wypływu. Dotyczy to pomiarów wydajności, temperatury wody, pH i przewodnictwa elektrolitycznego. Dla określenia składu chemicznego i izotopowego pobiera się próbki do badań laboratoryjnych.

Na obszarze Sudetów i ich przedpola występuje szeroka gama źródeł; począwszy od krasowych (Opolszczyzna, Krowiarki, Góry Kaczawskie), poprzez szczelinowe (Karkonosze Góry Sowie i Izerskie, Masywy: Śnieżnika i Ślęży), do klasycznych warstwowych (Góry Stołowe) i rumoszowych (np.: Kowalski 1986; Tomaszewski 1983; Ciężkowski 2001 i inni).

Na Dolnym Śląsku, najbardziej wydajne wypływy charakterystyczne są dla zbiorników i obszarów krasowych. W rejonie Strzelc Opolskich, źródła drenujące wapienne skały triasowe w miejscowościach: Sucha, Odrowąż i Centawa wykazywały wydajności równe odpowiednio: 103, 80 i 53 $dm^3 \cdot s^{-1}$ (Staśko 1992). Przy czym wydatek pierwszego z nich szybko malał w ostatnich latach, aż do całkowitego zaniku na skutek odwodnienia kopalni wapieni. Podobnie wysokie wydajności dochodzące do 60 $dm^3 \cdot s^{-1}$ wykazują źródła Romanowskie w masywie Krowiarek − $Q_{śr}$=36 $dm^3 \cdot s^{-1}$ (Bocheńska i in. 2002; Buczyński, Rzonca 2003). Źródło Bystrzycy Dusznickiej wypływające ze skał krystalicznych Gór Orlickich ma wydajność w zakresie 14−48 $dm^3 \cdot s^{-1}$ ($Q_{śr}$=23 $dm^3 \cdot s^{-1}$ – Kryza 1975; ryc. 2.4.1). W kotlinie Krzeszowa, opisywane były źródła drenujące permskie zlepieńce w Betlejem koło Krzeszowa i w Zadrnej o wydajnościach odpowiednio: 19 $dm^3 \cdot s^{-1}$ i 59 $dm^3 \cdot s^{-1}$ (Kowalski 1986).

W oparciu o pomiary terenowe i zestawienia najważniejszych charakterystyk hydrologicznych (wydatek i zakres jego zmienności, wskaźnik krenologiczny, wskaźnik zmienności Maillete'a), Sudety można zaliczyć do obszarów zasob-



Ryc. 2.4.1. Dynamika wydajności źródła w Zieleńcu.
Fig. 2.4.1. Variability of spring yield in Zieleniec.

nych w wody podziemne (tab. 2.4.1). Wskaźnik krenologiczny, z wyjątkiem Gór i Pogórza Kaczawskiego mieści się w zakresie: 1−6 źr/km^2. Większość badanych okresowo i stacjonarnie wypływów sudeckich charakteryzuje się przy tym niską wydajnością rzędu 0,1–1,0 dm^3·s^{-1}, zaś wskaźnik Maillete'a pozwala je zaliczyć do klasy mało zmiennych lub zmiennych. Na wysokie zawodnienie górotworu sudeckiego wskazywał już Jokiel (1994b).

Źródła sudeckie wykazują wiele podobieństw do źródeł szczelinowych Karpat i Podhala, gdyż w znacznej części należą również do klasy mało zmiennych, a ich współczynniki wysychania zawierają się w przedziale: 0,002−0,05 (Małecka 1981). W porównaniu np. ze źródłami Wyżyny Lubelskiej i Roztocza (Michalczyk 2001), wypływy sudeckie są mniej wydajne. Mała dynamika wydajności źródeł i ich wysokie wydatki wskazują na duże zasoby i znaczną rozległość zbiorników podziemnych na Lubelszczyźnie.

Najnowsze wyniki badań nad zasilaniem i tempem drenażu skał krystalicznych Sudetów wykazują, że zasilanie ich zachodzi impulsowo głównie w okresach wiosennych roztopów lub wyjątkowo wysokich opadów letnich (np. w lipcu), po przekroczeniu maksymalnej pojemności pokryw zwietrzelinowych (Tarka 1997). Czas przebywania wód podziemnych w środowisku skalnym określony na podstawie wieloletnich badań izotopowych wynosi od kilku do 10 lat (Staśko, Tarka 2002). Wyniki te stawiają pod znakiem zapytania dotychczasowe poglądy o szybkiej wymianie wód podziemnych i nakładają obowiązek uwzględniania w badaniach procesów migracji mas.

W warunkach górskich (Kotlina Kłodzka) dominującą formą drenażu są koryta rzeczne zbierające ponad 80% odpływu podziemnego, podczas gdy źródłami wypływa jedynie 19% zasobów z warstw wodonośnych (Olichwer 2003).

Tabela 2.4.1

Podstawowe charakterystyki regionalne wydatku źródeł sudeckich
Basic regional characteristics of the Sudeten springs yield

Wartości min−max	Autor (rok)	Rejon
W_k: 2,92 Q: 0,05−6,0	Kryza (1983)	Masyw Śnieżnika
W_k: 5,6−18,6 Q: 0,1−11,0 R: 2,3−31,9	Staśko, Tarka (1994) Staśko (1996)	Masyw Śnieżnika
W_k: 2,06−7,3 Q: 0,05−18,7 R: 3,7−32,7	Marszałek (1996)	Karkonosze (część zach.) i Góry Izerskie (część wsch.)
W_k: 0,11−1,11; śr: 0,57 Q: 0,1−2,0 R: 1,04−11,0	Bocheńska i in. (1994)	Góry i Pogórze Kaczawskie
Q: 0,09−6,49 R: 3−429	Wojtkowiak (2000)	Sudety Zachodnie
W_k: 1,8 Q: 0,01−2,7 R: 3−90	Staśko (1996)	Góry Sowie

W_k − wskaźnik krenologiczny [$1 \cdot km^{-2}$]; Q − wydajność [$dm^3 \cdot s^{-1}$]; R − wskaźnik zmienności Maillete'a
Źródło: Staśko 2002

Ze względu na swoje duże znaczenie, wybrane źródła sudeckie znalazły się w sieci obserwacyjnej Państwowego Instytutu Geologicznego (PIG). Podstawowe informacje o tych źródłach zawiera tabela 2.4.2. Pochodzą one z Rocznika hydrogeologicznego i Kwartalnego Biuletynu Informacyjnego Państwowej Służby Hydrogeologicznej (Kazimierski 2004).

Biorąc pod uwagę średnie i niskie wydajności prezentowanych wypływów można stwierdzić, iż większość z nich (z wyjątkiem źródeł w: Dobromyślu, Kowalowej, Karpaczu i Czerniawie) cechuje mała zmienność wydatku.

Skład chemiczny zwykłych wód podziemnych wypływających w źródłach sudeckich wskazuje na ich dobrą jakość i niską mineralizację (w przedziale 80−200 $mg \cdot dm^{-3}$). Niskie są również stężenia metali, w szczególności żelaza i manganu, stwarzających problemy przy uzdatnianiu wód pochodzących z formacji kenozoiku. W ostatnich latach obserwuje się jednak pewien wzrost zawartości związków azotu w wodach podziemnych (Ciężkowski i in. 1997; Staśko, Tarka 1995; Modelska i in. 2005).

Tabela 2.4.2

Charakterystyka źródeł sudeckich w sieci Stacjonarnych Obserwacji Hydrogeologicznych PIG

Characteristic of the Sudeten springs in the PIG Hydrogeological Stationary Observations network

Nr pkt.	Miejsowość	Rzędna [m n.p.m.]	Stratygrafia	Litologia	$SQ_{1991-2000}$ [$dm^3 \cdot s^{-1}$]	$NQ_{1991-2000}$ [$dm^3 \cdot s^{-1}$]	Obserwacje od roku
607	Szczytna Śląska	478	Cr_3	Me	10,24	8,57	1987
619	Młoty	521	Cr_3	Me	2,09	0,63	1987
625	Kowary-Wojków	542	C_3	{g}	0,35	0,11	1987
656	Kowalowa	626	P_1	tt+tf	3,82	0,15	1988
657	Dobromyśl	553	Cr_3	Pc	1,99	0,03	1988
664	Czerńczyce	272	Q	p+ż	0,52	0,44	1988
661	Rudziczka	258	Q	p+ż	1,44	1,10	1988
685	Karpacz	712	C_3	{g}	0,09	0,01	1989
687	Czerniawa	453	Pt	Ł	6,14	0,36	1989
718	Różanka	522	Pt	P	0,82	0,45	1990

Prace badawcze Instytutu Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego prowadzone od ponad 30 lat, pozwoliły zgromadzić pokaźny materiał w zakresie poznania źródeł Dolnego Śląska. Stąd też, zestawiając wiedzę na ten temat, przy wykorzystaniu nowoczesnych technik komputerowych i programów kartograficznych przystąpiono do konstrukcji bazy danych o źródłach Sudetów i stosownych map (Buczyński i in. 2003).

Podsumowanie

- Badania źródeł są niezbędne dla poznania i zrozumienia warunków hydrogeologicznych i prowadzenia właściwej gospodarki wodnej.
- Kompleksowe badania geologiczne, hydrogeologiczne, hydrochemiczne i GIS pozwalają na pełną charakterystykę systemu wodonośnego wraz ze wskazaniem możliwości praktycznego wykorzystania, ochrony zasobów wodnych i monitoringu w ramach Ramowej Dyrektywy Wodnej UE.
- W Sudetach występuje wiele źródeł, o czym świadczą podane wyżej wartości wskaźników krenologicznych. Są to jednak głównie wypływy mało wydajne (0,1−1,0 $dm^3 \cdot s^{-1}$). Dobiegające końca prace nad bazą i mapą źródeł Ziemi Kłodzkiej pozwolą lepiej poznać i scharakteryzować ten istotny element środowiska.

Summary

Spring in hydrogeology, significance, research methods and results application

General information about spring research and their significance in hydrogeological condition survey were presented for the Sudeten mountainous region and its foreland. Spring research methodology should include localization with GPS technique, discharge, temperature, chemical and isotopic composition measurements and groundwater flow system analyses. The examples of karstic, fissure and layer springs in Sudety Mts. were presented with a usage of basic characteristics. Only a few springs gushing from karstic aquifers represent yield over 50−100 $dm^3 \cdot s^{-1}$ whereas most of the springs located in crystalline rocks belong to 0.1−1.0 $dm^3 \cdot s^{-1}$ yield class. The author also evaluated spring density and average groundwater runoff discharge. Low costs of springs' studies in comparison with classic bore-holes and pumping tests made available gathering all the information about water resources. Groundwater chemistry of the springs gushing from crystalline formations showed its high quality with low pH value. Recent results gained from isotopic measurements on groundwater recharge and discharge showed that groundwater stay in crystalline formation up to 7−10 years. At the present moment research and studies on the spring database and the spring map of the Kłodzko Region are approaching the final results.

Stanisław Czachorowski
Katedra Ekologii i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
10-727 Olsztyn, pl. Łódzki 3, stanislaw.czachorowski@uwm.edu.pl

2.5. Fauna źródeł – stan poznania i perspektywy badań

Badania zoologiczne źródlisk mają długą historię, jednakże stanowiły zawsze margines zainteresowań hydrobiologów. Interesowano się biologicznymi przystosowaniami do życia w źródłach, składem gatunkowym oraz czynnikami środowiska odpowiedzialnymi za rozmieszczenie fauny w źródłach różnego typu. Bardziej kompleksowe badania, obejmujące całą faunę, były jednak nieliczne. Więcej było badań wyrywkowych, odnoszących się do jednej, lub dwu wybranych grup makrobentosu, często w oderwaniu od typologii hydrologicznej źródeł. Mało jest także badań w całości poświęconych faunie źródliskowej. Najczęściej publikowane są wyniki dotyczące rzek i jezior lub wód podziemnych.

Znajduje to swoje odzwierciedlenie w podręcznikach, gdzie źródła jako środowisko życia fauny traktowane są jako marginalne, specyficzne siedliska, obok wód podziemnych, cieplic, solnisk itd. Wyróżnia się przy tym trzy podstawowe typy źródeł: reokreny, helokreny, limnokreny (Starmach i in. 1976; Żmudziński 1997). Najczęściej, w podręcznikach hydrobiologii, źródła omawiane są jako początek rzeki (Mikulski 1974). Są też istotnymi elementami koncepcji *river continuum* (Allan 1998; Lampert, Sommer 2001). W ramach monitoringu zainteresowanie budzi zwłaszcza ich stan sanitarny, ze względu na ujęcia wody pitnej (Turoboyski 1979). W ostatnich latach znacznie więcej uwagi zwrócono na faunę źródeł ze względu na ochronę bioróżnorodności. Niektóre gatunki zagrożone wyginięciem to typowe krenobionty nie występujące w innych niż źródła siedliskach.

Więcej informacji odnaleźć można w monografiach naukowych, ale i tu najczęściej badania koncentrowały się na problemach hydrologicznych i geograficznych (Dynowska 1983; Michalczyk 1996; Moniewski 2004), rzadziej publikowano badania dotyczące fauny źródlisk (Biesiadka, Czachorowski 1999). Kilka ciekawych broszur i książek o charakterze popularnonaukowych ukazało się w Niemczech w związku z ogłoszoną w 1996 r. europejską dekadą ochrony źródeł (m.in. Laukötter 2000). W Polsce takich opracowań wyraźnie brakuje.

Rosnące zainteresowanie ochroną źródlisk oraz związanej z nimi fauny zaowocowało międzynarodową konferencją w Niemczech (1996), poświęconą ekologii i ochronie źródeł oraz dwoma konferencjami w Polsce. Pierwsza odbyła się w Łodzi we wrześniu 1997 r. p.t. „*Źródła, ich rola w środowisku i znaczenie w gospodarce wodnej*", skupiając głównie prace hydrologiczne i geograficzne. Referaty ukazały się drukiem w tym samym roku w *Acta Universitatis Lodziensis Folia Geografia Physica*. Druga konferencja odbyła się w Olsztynie w październiku 1997 p.t. „*Źródła Polski – stan badań, monitoring i ochrona*", z licznymi referatami dotyczącymi fauny. Materiały z tej konferencji ukazały się dwa lata później (Biesiadka, Czachorowski 1999).

Zainteresowanie tematyką źródliskową zaowocowało powstaniem pisma naukowego – *Crunoecia*, wydawanego w Niemczech. W latach 1992–1996 regularnie ukazywał się jeden tom rocznie, potem z trzyletnią przerwą ukazał się ostatni, szósty tom. W Polsce, po konferencji w Olsztynie, w latach 1997–1999 ukazywał się newsletter *Aretuza*.

Źródła są szczególnie interesującym siedliskiem życia bezkręgowców. Niska i stabilna zazwyczaj temperatura stwarza optymalne warunki dla gatunków zimnolubnych i stenotermicznych. Trwałość i stabilność warunków siedliskowych uważana jest za przyczynę bogactwa i zróżnicowania gatunkowego źródlisk. Zgrupowania organizmów, zasiedlające źródła, są często wysoce specyficzne. Z drugiej strony, stan ten jest zakłócany przez czynniki zewnętrzne, w tym naturalne migracje gatunków niespecyficznych z innych środowisk. W składzie jakościowym fauny źródeł zazwyczaj mały jest udział krenobiontów w stosunku do ksenofili i krenoksenów, obserwuje się też duży indywidualizm faunistyczny poszczególnych obiektów.

Źródła są ciekawym obiektem badań dla zoologów, ze względu na fakt, iż stanowią miejsce styku fauny wód podziemnych, fauny wód powierzchniowych, fauny typowo lądowej oraz fauny glebowej. Licznie reprezentowane w źródłach helokrenowych są gatunki typowe dla siedlisk hydropetrycznych, przystosowanych biologicznie do życia w cienkiej warstewce wody. Podobne warunki siedliskowe występują w górskich strumieniach, na kamieniach i skałach przy wodospadach. U krenobiontów żyjących w helokrenach widoczne są przystosowania biologiczne, umożliwiające życie w cienkiej warstewce wody, m.in. objawiające się obecnością większej liczby szczecinek. Porównując różne gatunki chruścików: *Enoicyla pusilla* (pełny lądowy tryb życia), *Berea maura, Crunoecia irrorata, Parachiona picicornis* (krenobionty) zauważyć można ewolucyjne tendencje w przystosowywaniu do lądowego trybu życia. Wśród muchówek występujących w źródłach liczne są gatunki nie tylko siedlisk hydropetrycznych ale i związanych z wilgotnymi siedliskami lądowymi (glebo-

wymi), czy wilgotnym próchniejącym drewnem (Fischer 1993, 1994; Fischer i in. 1995).

Spośród stawonogów występujących w źródłach Polski najlepiej poznane są chruściki (Buczyński i in. 2003; Czachorowski 1990, 1999a, 1999b; Tomaszewski 1972), wodopójki (Biesiadka, Kowalik 1978, 1980, 1999; Biesiadka i in. 1990; Buczyński i in. 2003) oraz chrząszcze wodne (Buczyński i in. 2003; Pakulnicka 1999). Niewiele informacji mamy zaś na temat: jętek, widelnic, pluskwiaków wodnych, ważek (Buczyński 1999; Biesiadka, Kowalik 1999; Czerniawska-Kusza 1999; Kurzątkowska 1999; Lewandowski 1999). Bardzo słabo poznane są muchówki (*Diptera*), mimo licznego występowania w tym typie wód. Pod względem regionalnym zdecydowanie lepiej poznane są źródła górskie.

W licznych badaniach dostrzeżono stosunkowo duży induwidualizm fauny źródliskowej (Buczyński i in. 2003; Czachorowski 1999a, 1999b; Erman, Erman 1990; Fischer 1994; Gerecke, Di Sabatibo 1996; Kiss, Schmera 1996; Moretti i in. 1996; Myers, Resh 1996; Nesterovich 1996; Robert 1996; Zollhöfer 1996). Rodzi się więc pytanie: z czego wynika ten indywidualizm, czy z dużej różnorodności warunków siedliskowych, czy też wpływu czynników zewnętrznych? Liczne badania dostarczają argumentów za obydwiema możliwościami.

Wśród czynnków decydujących o różnorodności faunistycznej źródeł istotne są: wydajność wypływu, typ hydrologiczny źródła (reokren, helokren, limnokren), zróżnicowanie w profilu podłużnym (strefa eu- i hypokrenalu), charakter bezpośredniego otoczenia (w szczególności drzewa). Jednocześnie czyniki te mają różne znaczenie dla poszczególnych grup bezkręgowców. Może być to związane z ich biologią (sposób odżywiania: drapieżcy, detrytusożercy itp.), jak też z możliwością dyspersji z siedlisk sąsiadujących ze źródłem. Część organizmów migruje z hypokrenalu lub być może nawet epirhitralu, inne – tak jak owady – mogą drogą powietrzną migrować z okolicznych wód stojących (Czachorowski 1999b). Istotna wydaje się nie tylko zdolność do aktywnej dyspersji, ale także walencja ekologiczna kolonistów.

Jak wskazują dotychczas opublikowane prace, duży indywidualizm faunistyczny źródeł wynika bardziej ze zróżnicowanej mozaiki siedliskowej poszczególnych źródeł oraz walencji ekologicznej dostępnych gatunków, niż z silnych interakcji międzygatunkowych (Glazier, Gooch 1987). Istotną rolę mogą one odgrywać w przypadku źródeł o historii dłuższej niż polodowcowa (Myers, Resh 1996). Ważne zatem są zarówno cechy siedliska, jak i obecność potencjalnych kolonistów w krajobrazie otaczającym źródła. Dyspersja kolonistów byłaby istotniejsza w przypadku źródeł częściej zmieniających swój charakter. W zmienionym krajobrazie rolniczym źródła postrzegane są jako swoiste wodne oazy dla gatunków reliktowych. Decydują o tym specyficzne warunki środowiskowe.

Przykładem mogą być źródła w Rumunii, gdzie w pierwotnym krajobrazie lasostepu obecnie dominują uprawy rolne, a źródła stały się refugiami dla oksybiontów, psychrostenotermów, rhitrobiontów i krenobiontów, występujących liczniej w chłodnych wodach bieżących górskich regionów Europy (Botosaneanu 1995).

W składzie fauny chruścików źródeł Polski widoczne są znaczne różnice między poszczególnymi regionami. Podobieństwo fauny źródlisk Polski i Niemiec oszacowano na ok. 40%, przy podobnej liczbie gatunków (Czachorowski 1999b). Duże różnice obserwowano także między wschodnią i zachodnią częścią Kanady (Williams 1991; Williams, Williams 1996), jak również w układzie północ-południe (Danks, Williams 1991). Czynnik geograficzny istotny jest jednak tylko w dużej skali (Khmeleva i in. 1994). Różnice te można interpretować jako efekt zróżnicowanej dostępności kolonistów i zróżnicowanego tempa dyspersji. Częściowa, wspomniana różnorodność wynika też z różnic klimatycznych. Przykładowo: fauna źródlisk północnej części Ameryki Północnej jest uboższa, niż południowej (Danks, Williams 1991). Może to wynikać z mniej sprzyjającego klimatu, zaburzającej roli zlodowaceń lub zależnej od klimatu różnorodności siedliskowej.

Do tej pory wyodrębniono wiele czynników środowiskowych wpływających na faunę źródliskową: klimat, wysokość n.p.m., typ źródła, wielkość i stałość wydajności, charakter podłoża, temperaturę wody, charakter roślinności otaczającej źródło, migracje z siedlisk sąsiadujacych ze źródłem, zdolności dyspersyjne gatunków, obecne i dawne bariery w migracji (Bonettini, Cantonati 1996; Buczyński i in. 2003; Czachorowski 1999a, 1999b; Danks, Williams 1991; Gerecke, Sabatino 1996; Khmeleva i in. 1994; Myers, Resh 1996; Williams 1991; Williams, Williams. 1996). Istotność tych czynników może być inna dla różnych grup bezkręgowców. Bogactwo gatunkowe *Trichoptera* skorelowane jest z Ca, Mg, pH jak również z nasłoniecznieniem (Danks, Williams 1991; Erman, Erman 1990). Oczywiście jest to zależność statystyczna. W dalszych badaniach należy zidentyfikować rzeczywiste zależności przyczynowo-skutkowe. Zgrupowania źródliskowe, zdominowane przez owady związane są z niskim pH i dnem piaszczystym. Inne zgrupowania (w tym zdominowane przez skorupiaki) związane są natomiast z inymi czynnikami siedliskowymi, np. dnem mulistym, występowaniem glonów itp. Większość zgrupowań uzależniona jest od specyficznych cech fizycznych i chemicznych środowiska oraz od roślinności (Danks, Williams 1991; Glazier, Gooch 1987). Większą liczbą gatunków charakteryzują się źródła bardziej zróżnicowanie siedliskowo (Danks, Williams 1991; Moretti i in. 1996). Ponadto siedliska stabilne mają więcej gatunków i są zdominowane przez skorupiaki, natomiast bardziej zmienne zdominowane są przez owady (Danks, Williams 1991). W tym przypadku zdolność do dyspersji – większa u zdolnych do

lotu owadów – może przesądzać o możliwości kolonizowania izolowanych i zaburzanych źródeł w różnych odcinkach czasowych.

O zróżnicowaniu gatunkowym może też decydować szybkość wypływu i uzależniony od niego typ źródła: helokreny zasiedla więcej gatunków preferujących siedliska lenityczne, reokreny – pochodzących ze strumieni (Bonetti, Cantonati 1996; Danks, Williams 1991), natomiast limnokreny – gatunki wód stojących. Można to powiązać z charakterystyką ekologiczną potencjalnych kolonistów. Wysięki i helokreny zasiedla więcej gatunków związanych z cienką warstwą wody, zbiorniki źródliskowe i wypływy – więcej fauny typowo bentosowej (Danks, Williams 1991). Gatunki wód płynących mają lepsze możliwości kolonizowania źródlisk, ze względu na ich bezpośrednie sąsiedztwo. Przemieszczać mogą się zarówno *imagines*, jak i larwy (Erman 1986). Dodatkowym czynnikiem wpływającym na bioróżnorodność fauny źródliskowej może być stopień antropopresji.

Podsumowując przegląd czynników wpływających na faunę źródliskową można stwierdzić, że o jej kształtowaniu decydują: typ źródła, wydajność, otoczenie (decydujące o bogactwie siedliskowym wewnątrz samych źródeł) i strefowe zróżnicowanie eukrenal-hypokrenal. Ważnym czynnikiem okazują się także zaburzenia (antropopresja, zmienność przepływu, zaburzająca rola zlodowaceń) i możliwość rekolonizacji źródeł.

Duży indywidualizm faunistyczny źródlisk interpretowany jest m.in. jako wpływ migracji z siedlisk sąsiadujacych, w tym rhitralu, potamalu i limnalu (Czachorowski 1999a). Obecność w źródłach *imagines* wielu owadów nie przesądza o podejmowaniu rozrodu: mogą one szukać tylko schronienia lub pokarmu (Crema i in. 1996; Erman 1986). Także nie każda próba rozrodu kończy się sukcesem reprodukcyjnym, co widać np. w przypadku ważek. W odniesieniu do krenoksenów, a być może również niektórych krenofili, nawet sukces rozrodczy nie przesądza o stabilności populacji. W skali krajobrazowej, źródła funkcjonują więc dla wielu gatunków jako „wyspy akceptorowe", zintegrowane, w ramach metapopulacji, z populacjami w sąsiednich zbiornikach (z „wyspami donorowymi").

Tu warto zwrócić uwagę na specjalizację grup. Dla krenobiontów, źródła stanowią swoiste „wyspy". Stąd zauważalna jest rola odległości między źródłami (możliwość dyspersji i rekolonizacji). Natomiast u gatunków bardziej eurytopowych, odpowiednie siedliska występują licznie także poza źródłami. A więc jest znacznie więcej „wysp", w których mogą się z sukcesem rozwijać. W takich przypadkach, model „wysp siedliskowych" należy rozpatrywać z uwzględnieniem wszystkich zbiorników wodnych, a nie tylko samych źródlisk (Buczyński i in. 2003).

Źródła jako obiekty małe, były zawsze na marginesie zainteresowań fauną innych wód śródlądowych: jezior, cieków, zbiorników torfowiskowych, wód

podziemnych. Stąd wiedza o ekologii zwierząt zasiedlających ten typ środowiska jest relatywnie niewielka. Dotychczas stosowana przez hydrobiologów-zoologów typologia źródeł jest niewystarczająca. Konieczna jest ściślejsza współpraca z hydrologami dla uchwycenia dużej różnorodności, zwłaszcza źródeł nizinnych i krajobrazu młodoglacjalnego. W niektórych pracach można znaleźć informacje o faunistycznym zróżnicowaniu źródeł podobnych pod względem charakteru. Uwzględniając szereg cech abiotycznych, w helokrenowych źródłach Holandii, Verdonschot (1996) wyróżnił pięć typów cenotycznych źródeł. W badaniach nad źródłami okolic Kazimierza Dolnego, Buczyński i in. (2003) wyróżnili pięć różnych typów źródeł, na podstawie cech abiotycznych, siły antropopresji oraz fauny wodopójek, chrząszczy wodnych i chruścików.

Liczne badania wskazują na antropogeniczne przekształcenia fauny źródlisk (Botosaneanu 1995; Buczyński i in. 2003; Verdonschot 1996). Rozpoczęta inwentaryzacja źródeł Niemiec (Lischewski 1999) powinna być kontynuowana także i w Polsce. Wypracowane narzędzia oceny antropogenicznych zmian fauny (Fischer 1996) z powodzeniem zostały zaadaptowane do warunków Polski (Buczyński i in. 2003; Czachorowski 1999b). Dobrym rozwiązaniem byłoby stworzenie internetowej bazy danych o faunie źródeł lub opracowanie atlasu źródlisk Polski z uwzględnieniem występujących tam gatunków zwierząt.

Mimo licznych, aczkolwiek wyrywkowych i rozproszonych badań, daleko nam do ustalenia pełnej listy gatunków bezkręgowców zasiedlających źródła Polski, w tym także określenia listy krenobiontów. Niezbędna jest podstawowa inwentaryzacja w wielu regionach Polski, z uwzględnieniem pełnej różnorodności hydrologicznej i siedliskowej źródlisk. Kolejnym krokiem powinno być wypracowanie metod ochrony bioróżnorodności. Źródła mogą być bowiem modelowym obiektem do badań nad fragmentacją środowisk i dyspersją w siedliskach izolowanych, wnosząc ważny wkład do ekologii ogólnej.

Dla realizacji wymienionych perspektyw badawczych niezbędne jest tworzenie szerszych, interdyscyplinarnych zespołów naukowych, skupiających nie tylko zoologów różnych specjalności, ale także hydrologów, hydrochemików, geografów, botaników a także przedstawicieli władz lokalnych, decydujących o gospodarce przestrzennej.

Summary

Fauna of springs – the state of knowledge and perspective of research

Springs as habitat of invertebrates are very interesting for zoologists. Low and usually stable temperature creates optial conditions for stenothermal cold-water species. A great faunistical individuality of the springs was stated. It results probably from habitat diversity in the springs and

from external factors, as e.g. migrations from neighbouring biotops. Those factors are of different importance in various arthropod taxa. Spring biocenosis are affected by fauna migrating from neighbouring biotops and anthropopression. From this point of view, springs are interesting as example in ecological investigations of heterogenous habitats (habitat islands and fragmentation of landscape). Only some gropus as: caddis-flies, water mites and water beetles are better regognised in Poland. Interdisciplinary research includig hydrology, chemistry, geography, botany and zoology are strongly needed.

Leszek Kucharski
Katedra Ochrony Przyrody, Uniwersytet Łódzki
90-237 Łódź, ul. Banacha 1/3, kuchar@biol.uni.lodz.pl

2.6. Flora źródlisk – skład i gatunki wskaźnikowe

Wstęp

Źródła są jednym z najcenniejszych elementów krajobrazu Polski. Ze względu na niewielką powierzchnię i ich marginalne znaczenie gospodarcze należą one wciąż do słabo poznanych siedlisk. Dotyczy to szczególnie rozpoznania ich flory i roślinności.

Na charakteryzowanych siedliskach ukształtowała się specyficzna szata roślinna. Wody podziemne wypływające na powierzchnię mają zwykle względnie stałą temperaturę w ciągu całego roku, która w źródłach wynosi około 9°C. Zasiedlające je rośliny to organizmy wyspecjalizowane o wąskiej skali ekologicznej, dobrze znoszące niską temperaturę wody. Większość występujących w nich roślin to glony. Znacznie mniejszą grupę stanowią mszaki i rośliny naczyniowe. Budują one specyficzne dla tych siedlisk zbiorowiska roślinne bezpośrednio związane z wypływająca wodą, które zaliczane są do klasy *Montio-Cardaminetea* (Podbielkowski, Tomaszewicz 1979; Kornaś, Medwecka-Kornaś 1986). Towarzyszy im liczna grupa roślin o szerszej skali ekologicznej, które w różnym stopniu wykazują powiązanie ze źródliskami.

Przedmiot i cel badań

Opracowanie dotyczy flory obszarów źródliskowych, a więc miejsc wypływu wód podziemnych i terenów bezpośrednio do nich przyległych. Za gatunki źródliskowe uznano rośliny rosnące w miejscach wypływu wód podziemnych oraz występujące w bezpośrednim ich sąsiedztwie, na młakach i torfowiskach źródliskowych. Mimo kilkunastu opracowań, które pojawiły się w ostatnich latach, szata roślinna tych siedlisk jest wciąż jeszcze słabo poznanym składnikiem krajobrazu Polski. Fragmentaryczne dane dotyczące flory i roślinności obszarów źródliskowych w Polsce pochodzą m.in. z: Pojezierza Zachodniopomorskiego (Herbich 1998; Wołejko 2000), okolic Łodzi (Kucharski, Filipiak 1999; Janiak 2004), Pojezierza

Brodnickiego (Kępczyński, Załuski 1987; Załuski, Gawenda 1999), okolic Olsztyna (Pisarek i in. 2002), Sudetów (Kwiatkowski 2001) oraz południowo-wschodniej części kraju (Czarnecka, Janiec 2001a; Janiec, Czarnecka 2001).

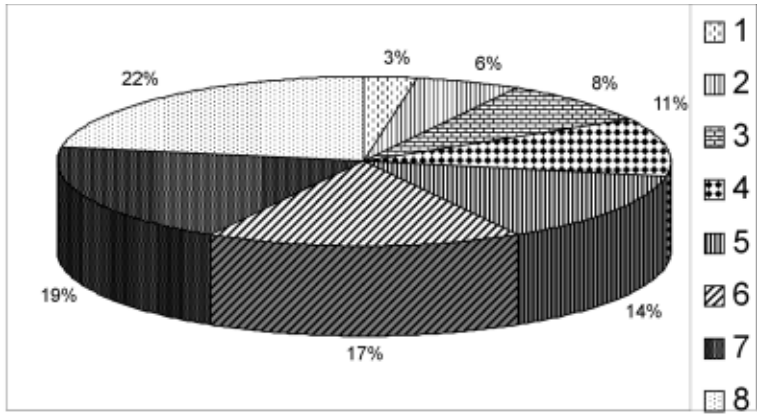
Głównym celem opracowania jest przedstawienie zróżnicowania gatunkowego flory zasiedlającej obszary źródliskowe oraz przedstawienie roli badanych siedlisk dla zachowania rzadkich gatunków roślin.

Metody

Dane dotyczące flory terenów źródlisk pochodzą z badań własnych prowadzonych w latach 1986–2006 na terenie: środkowej Polski (województwo łódzkie), Pojezierza Kujawskiego, Pojezierza Mazurskiego, a także Pojezierza Wałeckiego, Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej oraz Wyżyny Przedborskiej. W opracowaniu wykorzystano również informacje zawarte w cytowanej wyżej literaturze. Analizując florę obszarów źródliskowych zwrócono uwagę na jej wymagania siedliskowe, szczególnie na jej stosunek do warunków wilgotnościowych podłoża (gleby) i temperatury wody. Preferencje siedliskowe roślin określono wykorzystując tzw. liczby ekologiczne (Lindacher 1995; Zarzycki i in. 2002). Polskie i łacińskie nazwy roślin podano za Mirkiem i in (2003) oraz Ochyrą i in. (2003). Przedstawioną niżej propozycję klasyfikacji roślin porastających tereny źródliskowe oparto na podobnej, którą zastosowano do podziału roślin występujących na terenach zasolonych (Wilkoń-Michalska 1963).

Wyniki

Dotychczasowe badania szaty roślinnej obszarów źródliskowych prowadzone na terenie Polski wykazały, że jest ona budowana przez 447 gatunków roślin naczyniowych i 102 gatunki mszaków. Rośliny występujące na obszarach źródliskowych nie tworzą jednolitej grupy, zarówno pod względem systematycznym jak i siedliskowym. We florze tych siedlisk największą grupę tworzą gatunki związane z wilgotnymi łąkami (*Molinietalia*). Dość licznie występują gatunki leśne związane głównie z łęgami (*Alno-Ulmion*), ale stwierdzono także charakterystyczne dla olsów (*Alnion glutinosae*) i wilgotnych borów (*Vaccinio-Piceetea*). Na uwagę zasługują także rośliny torfowiskowe związane ze zbiorowiskami szuwarowymi (*Phragmitetea*) i torfowiskami niskimi i przejściowymi (*Scheuchzerio-Caricetea nigrae*). Flora obszarów źródliskowych cechuje się również dużym udziałem gatunków typowych dla nitrofilnych ziołorośli (*Glechometalia hederaceae*, *Convolvuletalia sepium*; *Epilobietalia angustifoliae*). Najmniejsze grupy tworzą rośliny wodne i przywiązane do charakteryzowanego typu siedliska (*Lemnetea*, *Potametea, Montio-Cardaminetea*) (ryc. 2.6.1).



Ryc. 2.6.1. Siedliskowy podział flory obszarów źródliskowych Polski
Objaśnienia: 1 – rośliny łąkowe (*Molinio-Arrhenatheretea*, *Agropyretea intermedio-repentis*); 2 – rośliny leśne (*Fraxino-Ulmion*, *Alnion glutinosae*, *Vaccinio-Piceetea*); 3 – rośliny torfowiskowe i szuwarowe (*Phragmitetea*, *Scheuchzerio-Caricetea fuscae* i *Oxycocco-Sphagnetea*); 4 – rośliny żyznych siedlisk (*Artemisietea* z rzędów: *Glechometalia hederaceae*, *Convolvuletalia sepium*; *Epilobietalia angustifoliae*); 5 – rośliny siedlisk antropogenicznych (*Bidentetea tripartiti*; *Stellarietea mediae*; *Artemisietea* z rzędu *Artemisietalia vulgaris*); 6 – rośliny źródliskowe (*Montio-Cardaminetea*); 7 – rośliny wodne (*Lemnetea*, *Potametea*); 8 – pozostałe gatunki.
Fig. 2.6.1. Habitat distribution of spring flora of Poland
Explanations: 1 – meadow plants (*Molinio-Arrhenatheretea*, *Agropyretea intermedio-repentis*); 2 – woodland plants (*Fraxino-Ulmion*, *Alnion glutinosae*, *Vaccinio-Piceetea*); 3 – peatbog and rushes plants (*Phragmitetea*, *Scheuchzerio-Caricetea fuscae* i *Oxycocco-Sphagnetea*); 4 – plant of rich habitats (*Artemisietea* from: *Glechometalia hederaceae*, *Convolvuletalia sepium*; *Epilobietalia angustifoliae*); 5 – plant of anthropogenic habitats (*Bidentetea tripartiti*; *Stellarietea mediae*; *Artemisietea* from *Artemisietalia vulgaris*); 6 – spring plants (*Montio-Cardaminetea*); 7 – water plants (*Lemnetea*, *Potametea*); 8 – other species.

Rośliny związane z terenami źródliskowymi nazwano krenofitami. Ze względu na różny stopień ich przywiązania do tego typu siedlisk możemy je podzielić na cztery grupy:

Krenofity obligatoryjne, czyli rośliny występujące tylko w źródłach. Są to organizmy stenotermiczne, czyli o wąskiej skali wymagań termicznych; oligotermy – związane z zimnymi wodami. Spotyka się je głównie w źródłach górskich, na niżu występują rzadziej. Są one przede wszystkim składnikami fitocenoz zespołów i zbiorowisk roślinnych z klasy *Montio-Cardaminetea*. Rzadko notowane są w zbiorowiskach ze związków: *Sparganio-Glycerion fluitantis* i *Ranunculion fluitantis*. Do grupy tej można zaliczyć rośliny naczyniowe: *Cochlearia polonica* – warzucha polska, *Chrysosplenium oppositifolium* – śledzienica naprzeciwlistna, *Berula erecta* – potocznik wąskolistny, *Veronica beccabunga* – przetacznik bobowniczek, *Glyceria nemoralis* – manna gajowa, *Montia fontana* – zdrojek

źródlany, *Caltha laeta* – knieć górska, *Epilobium nutans* – wierzbownica zwieszona, *Epilobium alsinifolium* – wierzbownica mokrzycowa, *Cortusa matthioli* – zarzyczka górska, *Tozzia alpina* ssp. *carpatica* – tocja alpejska. Z mszaków przywiązanie do źródeł wykazują: *Palustriella commutata* – źródliskowiec zmienny, *Palustriella decipiens* – źródliskowiec tujowaty, *Cratoneuron filicinum* – żebrowiec paprociowy, *Pellia epiphylla* – pleszanka pospolita, *Philonotis caespitosa* – bagnik darniowy, *Philonotis seriata* – bagnik spiralny.

Krenofity fakultatywne, które znajdują najlepsze warunki do rozwoju na obszarach źródliskowych, ale mogą występować również poza nimi. W grupie tej znajdują się gatunki charakterystyczne dla zbiorowisk ze związków: *Caricion davallianae*, *Ranunculion fluitantis* i *Sparganio-Glycerion fluitantis* oraz niektórych łęgów górskich i podgórskich. Za krenofity fakultatywne można uznać: *Chrysosplenium alternifolium* – śledzienica skrętolistna, *Mentha longifolia* – mięta długolistna, *Valeriana sambucifolia* – kozłek bzowy, *Carex davalliana* – turzyca Davalla, *Carex remota* – turzyca rzadkokłosa, *Glyceria plicata* – manna fałdowana, *Scirpus sylvaticus* – sitowie leśne, *Poa remota* – wiechlina odległokłosa, *Equisetum telmateia* – skrzyp olbrzymi, *Circaea intermedia* – czartawa pośrednia, *Carex paniculata* – turzyca prosowa, *Mimulus guttatus* – kroplik żółty. Z mszaków zaklasyfikowano tu: *Rhizomnium punctatum* – krągłolist macierzankowy, *Brachythecium rivulare* – krótkosz strumieniowy, *Helodium blandowii* – błotniszek wełnisty, *Plagiomnium elatum* – płaskomerzyk oskrzydlony, *Plagiomnium cuspidatum* – płaskomerzyk kończysty.

Krenofity indyferentne, czyli znoszące warunki panujące na obszarach źródliskowych. Rośliny te dość często występują w źródliskach, ale większość ich stanowisk znajduje poza tymi siedliskami. Należą tu niektóre gatunki łąkowe ze związku *Calthion* i szuwarowe ze związku *Magnocaricion* oraz leśne łęgowe i olsowe (*Alno-Ulmion* i *Alnion glutinosae*). Są wśród nich rośliny naczyniowe: *Equisetum palustre* – skrzyp błotny, *Melandrium rubrum* – bniec czerwony, *Stellaria uliginosa* – gwiazdnica bagienna, *Impatiens noli-tangere* – niecierpek pospolity, *Epilobium obscurum* – wierzbownica rózgowata, *Scrophularia umbrosa* – trędownik oskrzydlony, *Juncus inflexus* – sit siny, *Impatiens glandulifera* – niecierpek gruczołowaty, *Leersia oryzoides* – zamokrzyca ryżowa, *Urtica dioica* – pokrzywa zwyczajna oraz mszaki: *Climacium dendroides* – drabik drzewkowaty, *Plagiothecium denticulatum* – dwustronek ząbkowany, *Calliegonella cuspidata* – mokradłoszka zaostrzona, *Plagiomnium undulatum* – płaskomerzyk falisty, *Rhytidiadelphus squarrosus* – fałdownik nastroszony, *Brachythecium rutabulum* – krótkosz pospolity, *Aulacomnium palustre* – próchniczek błotny, *Marchantia polymorpha* – porostnica wielokształtna, *Paludella squarrosa* – mszar krokiewkowaty.

Krenofity akcydentalne, czyli przypadkowe, unikające zimnych siedlisk podmokłych. Jest to grupa roślin przeciwstawna do wymienionych wyżej. Na terenach źródliskowych pojawiają się rzadko, zwykle pojedynczo i wykazują osłabioną żywotność. Skład tej grupy zależy w wielkim stopniu od sąsiadujących ze źródliskami zbiorowisk. Na terenach źródliskowych odnotowano następujące rośliny naczyniowe obce dla tych siedlisk: *Stellaria graminea* – gwiazdnica trawiasta, *Ranunculus acris* – jaskier ostry, *Hepatica nobilis* – przylaszczka pospolita, *Lathyrus pratensis* – groszek żółty, *Pulmonaria obscura* – miodunka ćma, *Mentha arvensis* – mięta polna, *Odontites serotina* – zagorzałek późny, *Plantago major* – babka większa, *Solidago virgaurea* – nawłoć pospolita. Z mszaków odnotowano m.in.: *Athyrium undulatum* – żurawiec falisty, *Cirriphyllum piliferum* – szydłosz włoskowy, *Fiscidens adianthoides* – skrzydlik paprociowaty, *Pohlia nutans* – borześlad zwisły.

Dyskusja

Obszary źródliskowe zajmują powierzchnię bliską 1% powierzchni mokradeł znajdujących się na terenie Polski. Na tej niewielkiej powierzchni odnotowano jednak około 15% gatunków flory naczyniowej Polski. Duże zróżnicowanie właściwości fizycznych i chemicznych wypływających wód podziemnych wpływa na bogactwo flory obszarów źródliskowych. Rośliny porastające te siedliska cechują się dużym zróżnicowaniem wymagań siedliskowych. Notuje się tam rośliny siedlisk eutroficznych, jak i oligotroficznych, gleb zakwaszonych oraz alkalicznych. Są to jednak zawsze rośliny mokradłowe, rzadziej wodne, preferujące siedliska umiarkowanie zimne lub umiarkowanie chłodne (Lindacher 1995; Zarzycki i in. 2002). W przypadku roślin wyspecjalizowanych (krenofitów obligatoryjnych) wymagania siedliskowe są dobrze zdefiniowane. Rośliny słabiej przywiązane do źródlisk (krenofity fakultatywne i akcydentalne) wykazują się szerszą amplitudą wymagań siedliskowych.

Źródliska to również miejsca występowania licznej grupy roślin chronionych, zagrożonych i ginących (tab. 2.6.1). Duża część z nich to organizmy wyspecjalizowane, dla których wypływy wód podziemnych stanowią jedyne miejsca ich występowania. Dlatego istnieje pilna potrzeba opracowania kompleksowego systemu ochrony tych siedlisk, aby charakterystyczne dla nich gatunki nie podzieliły losu warzuchy polskiej (*Cochlearia polonica*), która występuje tylko na stanowiskach zastępczych. Najłatwiejszą do zastosowania formą ochrony źródlisk jest użytek ekologiczny. Tą formą ochrony powinny być objęte wszystkie źródła wraz ich najbliższym otoczeniem. Najcenniejsze obiekty należałoby chronić jako pomniki przyrody lub rezerwaty przyrody nieożywionej.

Tabela 2.6.1

Gatunki chronione i zagrożone w Polsce występujące na obszarach źródliskowych
Protected and threatened species occurring in headwater areas in Poland

L.p. No.	Nazwa gatunku Name of species	Ochrona prawna Legal protection	Kategoria zagrożenia Categories of threat
1.	*Carex davalliana* – turzyca Davalla	Ch.	(V)**
2.	*Carex dioica* – turzyca dwupienna	-	(V)
3.	*Carex limosa* – turzyca bagienna	Ch.	LR* (V)
4.	*Carex strigosa* – turzyca zgrzebłowata		LR (V)
5.	*Cladium mariscus* – kłoć wiechowata	Ch.	
6.	*Cochlearia polonica* – warzucha polska	Ch.	EW (EW)
7.	*Dactylorhiza incarnata* – kukułka krwista	Ch.	-
8.	*Dactylorhiza maculata* – kukułka plamista	Ch.	(V)
9.	*Dactylorhiza majalis* – kukułka szerokolistna	Ch.	-
10.	*Daphne mezereum* – wawrzynek wilczełyko	Ch.	-
11.	*Drosera rotundifolia* – rosiczka okrągłolistna	Ch.	(V)
12.	*Epipactis palustris* – kruszczyk błotny	Ch.	(V)
13.	*Equisetum telmateia* – skrzyp olbrzymi	Ch	-
14.	*Helodium blandowii* – błotniszek wełnisty	Ch.	[V]
15.	*Liparis loeselii* – lipiennik Loesela	Ch.	VU (E)
16.	*Listera ovata* – listera jajowata	Ch.	
17.	*Montia fontana* – zdrojek źródlany	Ch.	VU (V)
18.	*Ophioglossum vulgatum* – nasięźrzał pospolity	Ch.	(V)
19.	*Paludella squarrosa* – mszar krokiewkowaty	Ch.	[V]
20.	*Philonotis caespitosa* – bagnik darniowy	Ch.	[V]***
21.	*Philonotis calcarea* – bagnik wapienny	Ch.	-
22.	*Tomentypnum nitens* – błyszcze włosowate	Ch.	[V]
23.	*Tozzia alpina* – tocja alpejska	Ch	-
24.	*Trollius europaeus* – pełnik europejski	Ch.	-
25.	*Utricularia intermedia* – pływacz średni	Ch.	(V)
26.	*Utricularia minor* – pływacz drobny	Ch.	(V)
27.	*Viola uliginosa* – fiołek bagienny	Ch.	CR (V)

Objaśnienia:
Ochrona prawna: Ch. – gatunek objęty ścisłą ochroną; Kategoria zagrożenia: LR* – wg Kaźmierczakowa, Zarzycki 2001, (V)** – wg Zarzycki, Szeląg 2006, [V]*** – wg Ochyra 1992: EW – gatunek wymarły na naturalnym stanowisku; CR – gatunek na granicy wymarcia; EN, (E) – gatunek wymierający; VU, (V), [V] – gatunek narażony; LR – gatunek o małym ryzyku zagrożenia.
Explanations:
Legal protection: Ch. – species under strict protection; Categories of threat: LR* – after Kaźmierczakowa, Zarzycki 2001, (V)** – after Zarzycki, Szeląg 2006, [V]*** – after Ochyra 1992: EW – extinct in the wild; CR – critically endangered species; EN, (E) – endangered species; VU, (V), [V] – vulnerable species; LR – lower risk species.

Podsumowanie i wnioski

- Flora obszarów źródliskowych należy do najsłabiej poznanych składników szaty roślinnej Polski. Dane na jej temat są fragmentaryczne i dotyczą tylko nielicznych regionów.
- Dotychczas na terenach źródliskowych w Polsce odnotowano występowanie 447 gatunków roślin naczyniowych i 102 gatunków mszaków.
- Największą grupę, wśród występujących na tych obszarach gatunków, stanowią rośliny charakterystyczne dla wilgotnych łąk (*Molinietalia*) oraz wilgotnych lasów (*Fraxino-Ulmion* i *Alnion glutinosae*). Najmniej licznie występują rośliny wodne (*Potametea*) i źródliskowe (*Montio-Cardaminetea*).
- Rośliny przywiązane w różnym stopniu do siedlisk źródliskowych nazwano krenofitami. Wyróżniono wśród nich cztery grupy, które wykazują różny stopień przywiązania do warunków panujących na źródliskach. Są wśród nich krenofity: obligatoryjne, fakultatywne, indyferentne i akcydentalne.
- Źródliska są siedliskiem dla licznych gatunków roślin chronionych i rzadkich. Do najcenniejszych należą: *Cochlearia polonica* – warzucha polska, *Montia fontana* – zdrojek źródlany, *Liparis loeselii* – lipiennik Loesela i *Viola uliginosa* – fiołek bagienny.
- Źródła i tereny do nich przyległe należy objąć ochroną prawną; najkorzystniejszą formą ochrony dla tych siedlisk jest użytek ekologiczny.

Summary

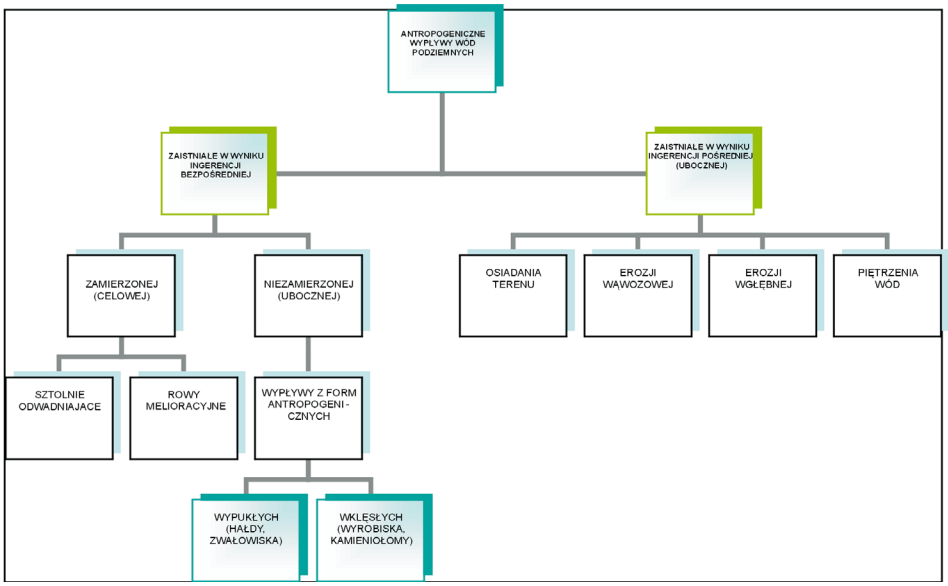
Flora of headwater areas – composition and indicator species

On headwater areas in Poland scientists registered 447 species of vascular plants and 102 species of bryophytes. The largest group are plants characteristic for wet meadows *(Molinietali*a) and wet woodlands (*Fraxino-Ulmion* and *Alnon glutinosae*). The smallest group are water plants (*Potametea*) and headwater plants (*Montio-Cardaminetea*). The plants attached in different degree to headwaters are called krenonphytes. They can be divided into four groups depending on the degree of attachement, and they include the following types of krenonphytes: obligatory, facultative, indifferent and accidental. Headwaters are habitat for numerous protected and rare species.

Tadeusz Molenda
Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej Obszarów Urbanizowanych, Uniwersytet Śląski
41-200 Sosnowiec, ul. Będzińska 60, tedimolenda@interia.pl

2.7. Antropogeniczne wypływy wód podziemnych – charakterystyka hydrograficzna

Naturalne wypływy wód podziemnych są obiektami szeroko zakrojonych badań, których wyniki opublikowano w licznych pracach (np.: Dynowska 1983; Janiec, Michalczyk 1991; Jokiel 1994a, 1997; Matysik, Molenda 1999; Chełmicki 2001; Moniewski 2004; Siwek 2004). W niektórych z tych opracowań zwrócono uwagę na oddziaływania antropogeniczne, utożsamiane najczęściej z degradacją jakości wód, a także bezpośrednim niszczeniem nisz źródliskowych. Gospodarcza działalność człowieka prowadzi nie tylko do modyfikacji naturalnych wypływów, ale może również przyczynić się do powstania całkowicie nowych, nie występujących uprzednio, obiektów hydrograficznych. Zaliczyć możemy do nich antropogeniczne wypływy wód podziemnych. Ich pojawienie się może być następstwem zarówno celowych działań człowieka, jak i niezamierzonych, jako uboczny efekt antropopresji (ryc. 2.7.1).

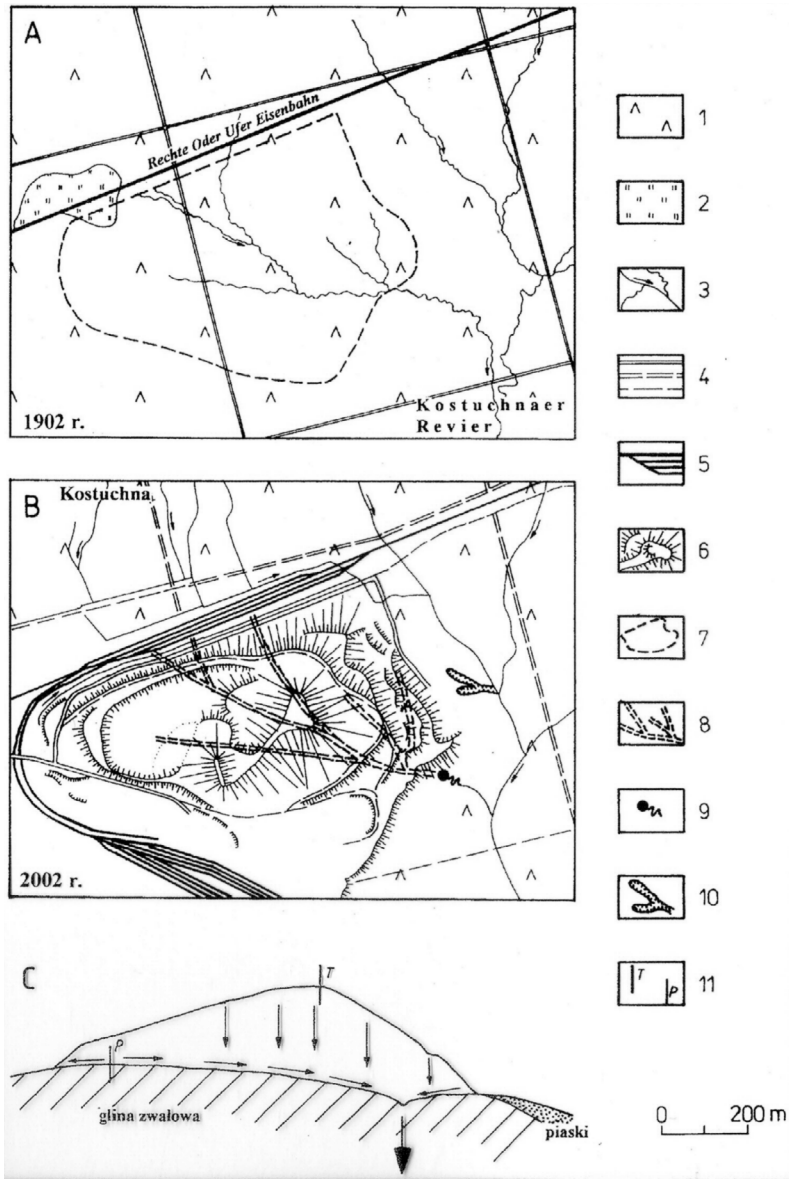


Ryc. 2.7.1. Struktura klasyfikacyjna antropogenicznych wypływów wód podziemnych.
Fig. 2.7.1. Classification structure of anthropogenic outflows of groundwater.

Do celowo budowanych obiektów, których zadaniem jest grawitacyjne odwodnienie górotworu, możemy zaliczyć m.in. sztolnie. Wyprowadzają one na powierzchnię wody podziemne dopływające do wyrobisk górniczych. W Polsce istnieje wiele tego typu obiektów, które pomimo zaniechania działalności górniczej do dnia dzisiejszego stanowią aktywną sieć drenażu starych wyrobisk. Bardzo często wyprowadzenia starych sztolni są zasypane skałami płonnymi, a woda wypływa spod warstwy rumowiska w sposób podobny do naturalnego wypływu. Przykładem tego typu obiektu może być stara sztolnia w Konradowie (Masyw Śnieżnika, Sudety). Woda wypływająca spod warstwy rumoszu przez wiele lat utożsamiana była z naturalnym źródłem. Dopiero w wyniku lipcowych opadów 1997 roku doszło do spiętrzenia wód w sztolni i eksplozji jej ujściowego odcinka (Ciężkowski 2005). W ten sposób doszło do ujawnienia nieznanej sztolni, a „źródło" uznawane do tej pory za naturalne stało się wypływem antropogenicznym. Przykryte rumoszem wyloty sztolni odwadniających znajdują się również w Krzeszowicach oraz Zagórzu Śląskim. W tym drugim przypadku u wylotu sztolni wykonano betonowe spiętrzenie i ujęto wypływającą wodę (Liber 2005). Wypływ ten jest taktowany przez miejscową ludność jako „źródło", a pobierana woda wykorzystywana jest do celów gospodarczych.

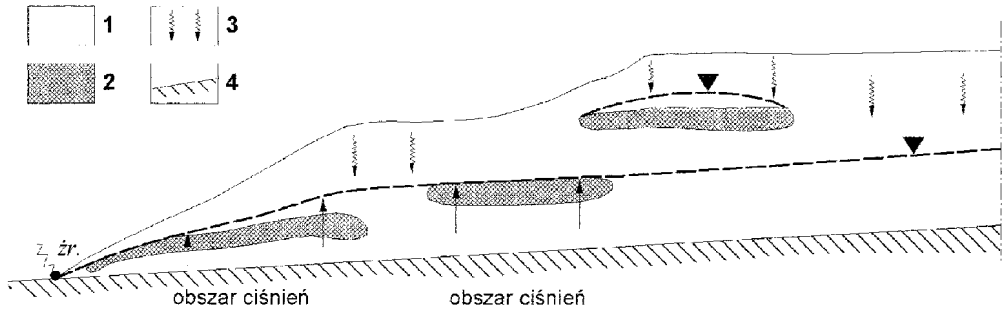
Ze sztucznym, zamierzonym drenażem wód podziemnych mamy również do czynienia w przypadku technicznych systemów melioracyjnych. Melioracje odwadniające prowadzone są najczęściej w obrębie torfowisk i dolin rzecznych w celu poprawy stosunków powietrzno-wodnych gleby i uruchomienia jej potencjału produkcyjnego (Trybała 1996). W otwartych rowach drenarskich dochodzi do wypływu wód gruntowych, najczęściej w postaci linijnej, chociaż odnotowano również wypływy punktowe.

W wyniku bezpośredniej działalności człowieka dochodzi również do powstania antropogenicznych, zarówno wklęsłych, jak i wypukłych form terenowych. Zaliczyć możemy do nich kamieniołomy, rowy, hałdy. W obrębie tych obiektów, w specyficznych sytuacjach hydrogeologiczno-geomorfologicznych może dochodzić do wypływu wód podziemnych zarówno w formie skoncentrowanej, jak i powierzchniowej. Przy krawędziach hałd, w miejscach zasypanych dolin rzecznych, wypływają wody odciekowe (ryc. 2.7.2). Odcieki mają skoncentrowany charakter, a wydajność niektórych może przekraczać 10 $dm^3 \cdot s^{-1}$. W większości przypadków są to wypływy zstępujące (descensyjne). Jednak w przypadku hałdy w Skrzyszowie koło Jastrzębia Zdroju wypływ ma charakter wstępujący – ascensyjny. Pojawienie się w bryle zwałowiska ciśnień piezometrycznych należy wiązać ze strefami zagęszczonego (skolmatowanego) materiału skalnego (ryc. 2.7.3).



Ryc. 2.7.2. Schemat antropogenicznie uwarunkowanej migracji wód w obrębie bryły zwałowiska Katowice-Murcki (wg Molenda 2002).
1 − lasy, 2 − łąki, 3 − cieki, 4 − drogi, 5 −linie kolejowe, 6 − krawędzie hałdy, 7 − zarys bryły zwałowiska, 8 − zasypana sieć drenażowa dolin rzecznych, 9 − odciek, 10 − wciosy, 11 − działy wodne: T − topograficzne, P − podziemne.

Fig. 2.7.2. The scheme of anthropogenically conditioned migration of water within the block of the waste heap in Katowice-Murcki (after Molenda 2002).
1 – forests, 2 – meadows, 3 – streams, 4 – roads, 5 – railways, 6 – waste heap edges, 7 – the sketch of waste heap block, 8 – covered drainage network of river valleys, 9 – leachate, 10 – incision, 11 – watersheds: T − topographic, P – underground.



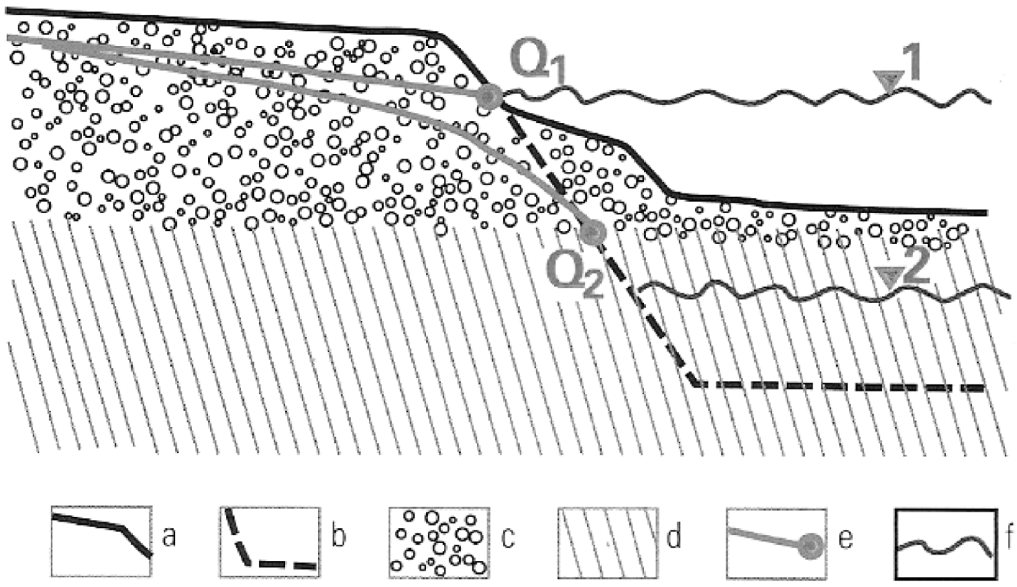
Ryc. 2.7.3. Przekrój poprzeczny składowiska "Skrzyszów" (wg Molenda 2006).
1 – materiał zwałowiska (utwory przepuszczalne), 2 – zagęszczony materiał zwałowiska (utwory słaboprzepuszczalne), 3 – infiltracja wód opadowych, 4 – dno doliny (utwory nieprzepuszczalne).

Fig. 2.7.3. The cross-section of the "Skrzyszów" waste heap (after Molenda 2006).
1 – dumped waste (permeable deposits), 2 – compacted dumped waste (poorly permeable deposits), 3 – precipitation water infiltration, 4 – valley bottom (impermeable material).

Szczególnie interesujące obiekty tego typu związane są ze składowiskami odpadów podlegających procesom krasowienia (hałdy solne). Na powierzchni hałdy tworzą się liczne ponory, natomiast wewnątrz bryły zwałowiska wody krążą kanałami krasowymi. Wypływają one w postaci swoistych „wywierzysk", których wydajność może wynosić kilka $dm^3 \cdot s^{-1}$, a mineralizacja wód przekroczyć kilkaset $g \cdot dm^{-3}$. Tego typu hałdy zlokalizowane są na terenie zakładów PO „Beloruskalij" na Białorusi (Klementiew, Demidowicz, Żumar 1994).

Wydajne wypływy wód podziemnych o skoncentrowanym charakterze obserwowane są również w kamieniołomach, piaskowniach i żwirowniach, w miejscach gdzie spąg wyrobiska „przetnie" warstwę wodonośną. Niekiedy przybierają one postać spektakularnych wodospadów wypływających ze ścian kamieniołomów i spadających na dno wyrobiska. Obiekt taki znajduje się w kamieniołomie wapieni dewońskich „Ostrówka" (Migaszewski, Gałuszka 2003).

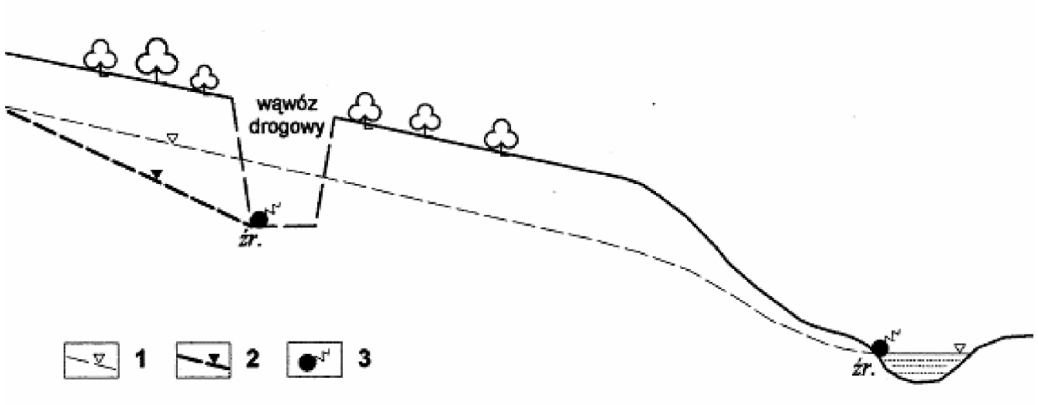
Pojawienie się nowych wypływów wód podziemnych może również wynikać z pośrednich form antropopresji. W drugiej połowie XX wieku, w wyniku przeprowadzonych robót regulacyjnych, doszło do gwałtownego wcinania się koryt rzek górskich. W następstwie tego, niewidoczne dotychczas źródła korytowe uległy przekształceniu w źródła terasowe, wypływające na kontakcie aluwiów ze skałami podłoża (ryc. 2.7.4). Obiekty tego typu licznie występują w dolnym biegu Sopotni (Molenda 2003).



Ryc. 2.7.4. Schemat zmian przekroju poprzecznego koryta Sopotni (wg Molenda 2005).
a − pierwotna powierzchnia terenu i dna koryta, b − obecna powierzchnia terenu i dna koryta, c − aluwia (otoczaki, żwiry, piaski), d − łupki, e − źródła (Q_1 − pierwotne, Q_2 − obecne), f − zwierciadło wody w rzece (1 − pierwotne, 2 − obecne).

Fig. 2.7.4. The scheme of changes of the cross−section of the Sopotnia river bed (after Molenda 2005).
a − primary surface of the land and river bed bottom, b − present surface of the land and river bed bottom, c − alluvia (pebbles, gravels and sands), d − shales, e − springs (Q1 – primary, Q2 – present), f – water-table in the river (1 – primary, 2 – present).

W zachodnich Karpatach liczne wypływy wód podziemnych występują również w wąwozach drogowych (holwegach). Najczęściej mają one charakter liniowy, ale występują również formy skoncentrowane, punktowe (ryc. 2.7.5). W większości przypadków mają one charakter okresowy. Dotyczy to w szczególności wypływów położonych w górnych częściach stoków drenujących wody z pokryw zwietrzelinowych. W głębokich wąwozach, położonych w dolnych częściach stoków, wypływy mają charakter stały, a poniżej wypływu droga funkcjonuje jako ciek stały. Wypływy w wąwozach drogowych znane są również z obszaru Wyżyny Lubelskiej (Janiec, Michalczyk – inf. ustna).



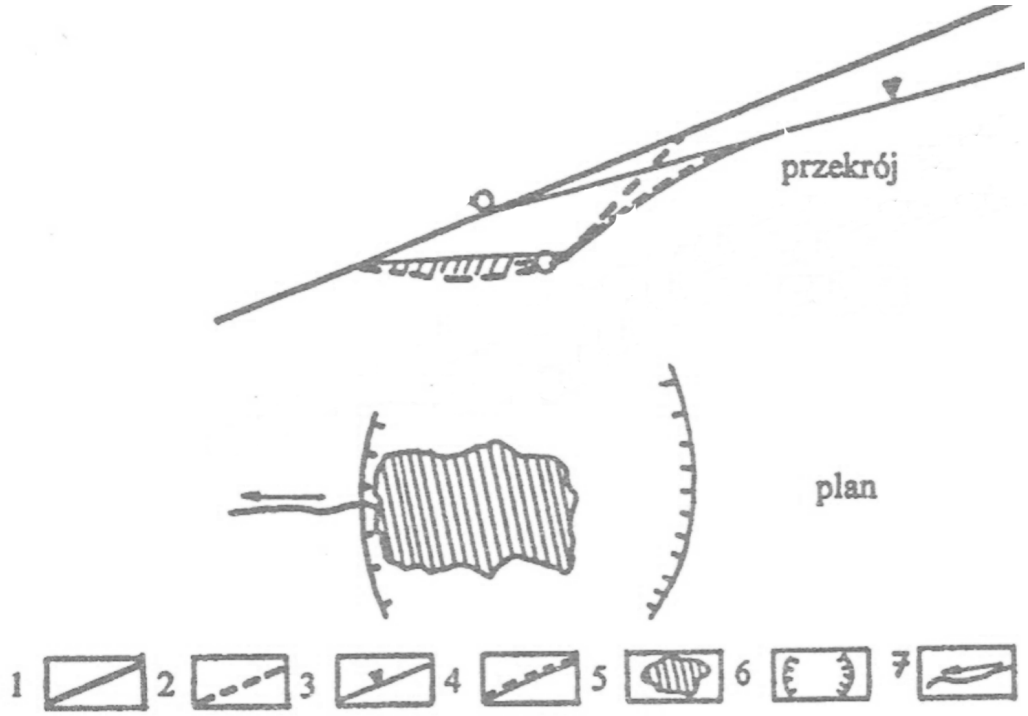
Ryc. 2.7.5. Wypływ wód podziemnych powstały w wyniku erozji wąwozowej.
1− pierwotne zwierciadło wód podziemnych, 2 − obecne zwierciadło wód podziemnych, 3 − źródło

Fig. 2.7.5. The outflow of groundwater resulting from gully erosion.
1− primary water-table of groundwater, 2 – present water-table of groundwater, 3 − spring

Osiadanie terenu wywołane eksploatacją górniczą również może prowadzić do wypływu wód podziemnych na powierzchnię terenu. Wypływy te mają najczęściej postać linijną, lub są zbliżone charakterem do młak (Jankowski 2006). Zatopienie powstałej w ten sposób niecki wodami wypływów prowadzi do utworzenia zbiornika wodnego. Ponadto, osiadanie terenu może przyczynić się do transformacji istniejących źródeł. Przykładem mogą być tu źródła Kłodnicy − pierwotnie w położeniu stokowym, które obecnie uległy przekształceniu w źródła basenowe, wypływające w dnie zbiornika wodnego (ryc. 2.7.6).

Pojawienie się nowych, punktowych obiektów hydrograficznych może być również zainicjowane piętrzeniem wód rzecznych. W wyniku spiętrzenia wód Czarnej Przemszy zaporą w Przeczycach nastąpiło uaktywnienie podziemnego przepływu kanałami krasowymi. Następstwem tego zjawiska było powstanie poniżej zapory nowych źródeł zwanych przez okolicznych mieszkańców „wampirami" (Pulina 1999). Jeden z większych wypływów pojawił się w piwnicy budynku dyrekcji zapory! Pojawienie się nowych wypływów poniżej grobli stawów, zwłaszcza w strefach dużych gradientów hydraulicznych, stwierdził również Moniewski (2004).

Wszystkie wyżej wymienione obiekty, po ustąpieniu antropopresji (zakończenie eksploatacji i składowania odpadów) zaczynają podlegać naturalnym procesom hydrologicznym, morfologicznym i biologicznym, stając się tym samym antropogenicznymi analogami źródeł. Dlatego też Janiec (2002) proponuje



Ryc. 2.7.6. Schemat powstania zbiornika na obszarze źródliskowym Kłodnicy spowodowanego rozwojem niecki osiadań (wg Molenda 1999).
1 − pierwotna powierzchnia stoku, 2 −obecna powierzchnia stoku, 3 − pierwotne zwierciadło wód podziemnych, 4 − obecne zwierciadło wód podziemnych, 5 − zbiornik wodny, 6 − krawędź niecki osiadań, 7 − ciek.

Fig. 2.7.6. The scheme of water reservoir creation in headwater area of the Kłodnica river caused by the development of subsidence trough (after Molenda 1999).
1− primary slope surface, 2 − present slope surface, 3 − primary groundwater table, 4 − present groundwater table, 5 – water reservoir, 6 – the edge of subsidence trough, 7 − stream.

rozszerzenie dotychczasowego pojecia *źródła*. Według tej definicji źródło to naturalny samoczynny i skoncentrowany wypływ wody podziemnej, dający wyraźny odpływ na zewnątrz, z naturalnej lub (rzadziej) długo naturalizowanej mikroformy rzeźby terenu, będące efektem erozji źródlanej (niekiedy depozycji osadów), bądź też wypływ punktowy w obrębie zbiornika wodnego.

O analogii do naturalnych wypływów wód podziemnych świadczą nie tylko ich cechy fizjonomiczne, ale również inne właściwości, zarówno fizyczne, jak i chemiczne wypływających wód. Jedną z nich jest temperatura. W sztolniach, temperatura wód podlega niewielkim wahaniom w cyklu rocznym – w niektórych obiektach amplituda nie przekracza 1ºC (tab. 2.7.1). Współczynniki

zmienności (C_v) wskazują, że wody wypływające ze sztolni cechuje wyższa stabilność termiczna aniżeli wody wypływów naturalnych. Interesujące jest porównanie zmian temperatury wód sztolni i naturalnych wypływów. Synchroniczność zmian temperatury obu typów wód (r>0,8) wskazuje, że obiekty antropogeniczne reagują na zmiany czynników meteorologicznych w analogiczny sposób jak naturalne źródła. Jest to jeden z najistotniejszych dowodów, iż obiekty antropogeniczne podlegają takim samym procesom jak naturalne.

Tabela 2.7.1

Wyniki pomiarów temperatury wody w sztolniach w porównaniu z naturalnymi źródłami.
The results of water temperature measurements in the adits in comparison with natural springs.

Obiekt	Temperatura [ºC]	Współczynnik zmienności C_V [%]	Współczynnik korelacji (r)
Sztolnia „Fryderyk” (n=24)	8,9–9,4	2,3	0,89
Źródło „Młodości” (n=24)	8,2–9,9	6,8	
Sztolnia „318” (n=24)	10,1–10,4	1,1	0,88
Źródło „Maria” (n=24)	7,1–11,1	20,1	

Antropogeniczne wypływy wód podziemnych, oprócz przedstawionej powyżej typologii, można również podzielić w oparciu o kryteria zaproponowane w odniesieniu do naturalnych wypływów przez innych autorów np.: Bajkiewicz-Grabowską i Mikulskiego (1993) oraz Pazdro i Kozerskiego (1990). Na przykład, w zależności od siły powodującej wypływ wody, wyróżnić możemy wypływy: grawitacyjne (descensyjne) i wstępujące (ascensyjne) − ryc. 2.7.3. Natomiast, biorąc pod uwagę stałość wypływu, dzielimy je na stałe i okresowe.

Wypływy antropogeniczne można również klasyfikować ze względu na rodzaj przewodów wyprowadzających wodę na powierzchnię terenu. Wśród nich spotykane są różne typy wypływów warstwowych. Przykładem mogą być wypływy warstwowo-kontaktowe w korycie Sopotni (ryc. 2.7.4). W kamieniołomach skał litych występują natomiast wypływy szczelinowe. Tego typu obiekty znane są z kamieniołomów „Blachówka” w Tarnowskich Górach oraz „Balaton” w Trzebini.

Ze względu na położenie i stosunek do form rzeźby terenu można wyróżnić wypływy krawędziowe, usytuowane u podnóża krawędzi morfologicznej (krawędź wyrobiska, rowu, hałdy itp.). Natomiast, ze względu na charakter litolo-

giczny utworów z których wypływają wody, możemy je podzielić na rumoszowe lub zwietrzelinowe, w zależności od stopnia zwietrzenia skał płonnych zdeponowanych na hałdach. Specyficznym rodzajem wypływów są antropogeniczne wywierzyska wypływające z hałd solnych.

Antropogeniczne wypływy wód podziemnych możemy również klasyfikować z uwagi na cechy fizykochemiczne ich wód. Ze względu na temperaturę wody wypływy możemy podzielić na zwykłe (<20ºC) i termalne (>20ºC). Jako ciekawostkę warto podać, że temperatura wód najcieplejszego wypływu antropogenicznego (hałda „Skalny") wynosi 50ºC, a jej roczna amplituda nie przekracza 1ºC. Z kolei, pod względem stopnia mineralizacji wody należy wyróżnić wypływy: słodkie (0,1−0,5 $g \cdot dm^{-3}$), akratopegi (0,5−1,0 $g \cdot dm^{-3}$) i mineralne (>1 $g \cdot dm^{-3}$).

Reasumując, autor proponuje przyjąć następującą definicję: *wypływ antropogeniczny* – samoczynny wypływ wód podziemnych na powierzchnię terenu powstały w wyniku działań człowieka polegających na odsłonięciu (przecięciu) warstwy wodonośnej. Wypływ antropogeniczny może mieć formę skoncentrowaną lub nieskoncentrowaną, tworzącą podmokłość.

Summary

Anthropogenic outflows of groundwater − hydrographical characteristic

The chapter describes the anthropogenic outflows of groundwater. They could be formed either as a result of intended human activities or as an indirect effect of the anthropopression (fig. 2.7.1). The outflows of groundwater undergo the same natural processes as natural springs.

Janusz Siwek
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński
30-387 Kraków, ul. Gronostajowa 7, j.siwek@geo.uj.edu.pl

2.8. Baza danych o źródłach na Wyżynie Śląskiej i Małopolskiej – uwagi metodyczne

Wstęp

Wraz z rozwojem w Polsce badań krenologicznych coraz wyraźniej zaznacza się potrzeba tworzenia przestrzennych baz danych dotyczących źródeł (Buczyński, Staśko, Rzonca 2003). Jakkolwiek, w poszczególnych ośrodkach prowadzone są prace zmierzające do uporządkowania i zestawienia informacji o źródłach, to obejmują one najczęściej stosunkowo niewielkie obszary, a dostęp do bazy danych dla użytkowników zewnętrznych jest zwykle ograniczony.

Wraz z rozwojem technik GIS, tworzone bazy danych coraz częściej zawierają element geoinformacyjny (Michalak 2003). Przy konstruowaniu tego typu baz głównym kryterium, jakim kierują się autorzy jest najczęściej łatwość pozyskania i analizy informacji. Opracowanie bazy mającej służyć użytkownikowi w dłuższej perspektywie czasu wymaga takiego zorganizowania informacji, aby możliwa była edycja i wprowadzanie nowych danych – również przez innych użytkowników.

Problemy związane z tworzeniem baz GIS związane są m.in. z zakresem gromadzonej informacji, unifikacją i integracją (często niejednorodnych) danych, wyborem oprogramowania i środowiska pracy, metodami uzupełniania i edycji informacji oraz przede wszystkim sposobem ich udostępniania i publikowania (Chełmicki 2006).

Poniższe opracowanie przedstawia bazę danych o źródłach na Wyżynie Śląskiej i Małopolskiej. Jej celem jest umożliwienie dostępu do informacji o źródłach osobom zajmującym się planowaniem przestrzennym i ochroną środowiska, jednostkom samorządowym i edukacyjnym. Baza ta jest również głosem w dyskusji odnośnie zakresu oraz sposobu gromadzenia i prezentowania danych dotyczących źródeł – w podobnej lub innej skali.

Baza danych obejmuje źródła położone na Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej i Śląskiej. Liczba uwzględnionych wypływów systematycznie wzrasta. Obecnie (grudzień 2006 r.) zawiera ona ok. 120 obiektów.

Materiałem wyjściowym zawartym w bazie są głównie informacje o źródłach zestawione przez Dynowską (1983). Dane te zostały zaktualizowane oraz uzupełnione w czasie badań terenowych prowadzonych w latach 1999–2003 (Chełmicki 2001; Siwek 2004). Ponadto, w bazie wykorzystano również materiały zebrane w czasie realizacji wielu prac dyplomowych powstałych w Zakładzie Hydrologii Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ.

Zakres i organizacja danych

Zakres informacji gromadzonej w bazie zależy głównie od skali opracowania. Bazy danych obejmujące niewielki obszar pozwalają na zestawienie kompletnej i szczegółowej informacji. Wraz z ze zwiększaniem zasięgu przestrzennego bazy utrzymanie szczegółowości prezentowanych wyników staje się coraz trudniejsze – nie tylko ze względu na problem związany z uzyskaniem informacji ale, przede wszystkim, z uwagi na konieczność tworzenia coraz bardziej złożonego mechanizmu wyszukiwania i dostępu do danych.

Baza danych o źródłach na Wyżynie Śląskiej i Małopolskiej zawiera informacje dotyczące: położenia, geologii, typu źródła, formy jego ochrony oraz wyniki różnego rodzaju pomiarów terenowych i laboratoryjnych (tab. 2.8.1).

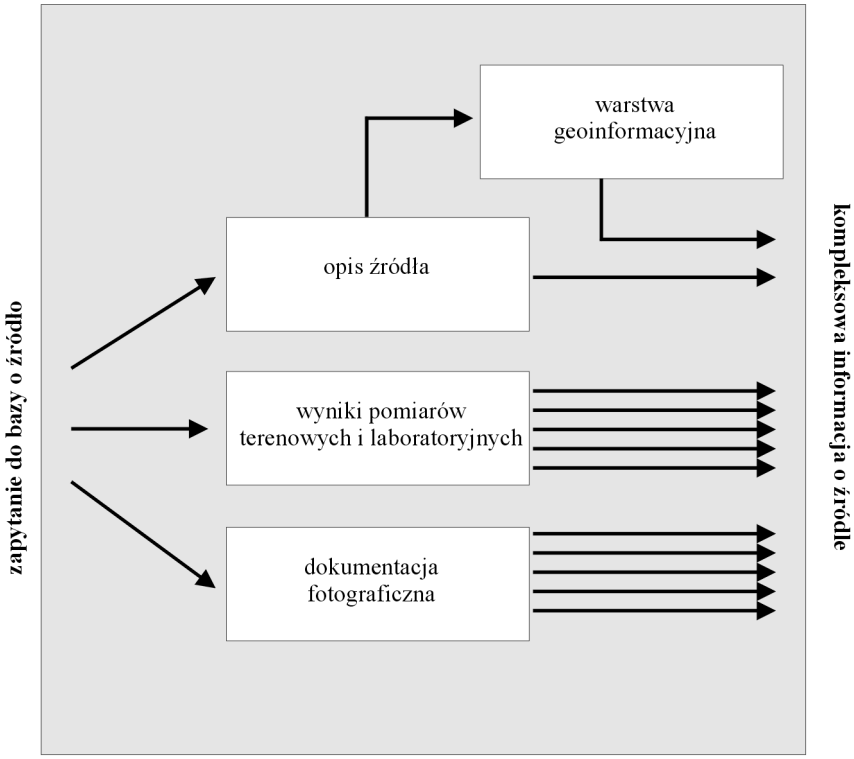
Tabela 2.8.1

Informacje zawarte w bazie danych
Information included in the database

Grupa zmiennych	Zmienne	Liczba zmiennych
lokalizacja źródła	- współrzędne geograficzne - podział fizyczno-geograficzny - podział hydrograficzny - podział administracyjny	4
geologia	- stratygrafia warstwy wodonośnej - litologia warstwy wodonośnej	2
typologia	- położenie względem form terenu - klasa przeciętnej wydajności	2
forma ochrony	- położenie względem obszarów chronionych - ochrona w formie pomnika przyrody nieożywionej	2
inne	- uwagi	1
wyniki badań terenowych i laboratoryjnych	- data badania - wydajność - temperatura - odczyn, przewodność elektrolityczna właściwa - makroelementy (Ca, Mg, Na, K, HCO_3, SO_4, Cl) - związki biogenne (NH_4, NO_2, NO_3, PO_4) - metale ciężkie (Zn, Cu, Mn, Fe, Pb, Br) - notka bibliograficzna odsyłająca do publikacji zawierającej wyniki	25

Zawarte w bazie informacje o źródłach podzielone są na cztery oddzielne grupy. W pierwszej z nich zestawiono podstawowe dane o wypływie. W drugiej – umieszczono wyniki pomiarów terenowych i laboratoryjnych. Trzecią, stanowi zbiór informacji dotyczący dokumentacji fotograficznej. Oddzielną kategorię tworzą dane przestrzenne GIS. Relacje między bazami danych realizowane są za pomocą skryptów PHP, w zależności od skierowanego do bazy zapytania.

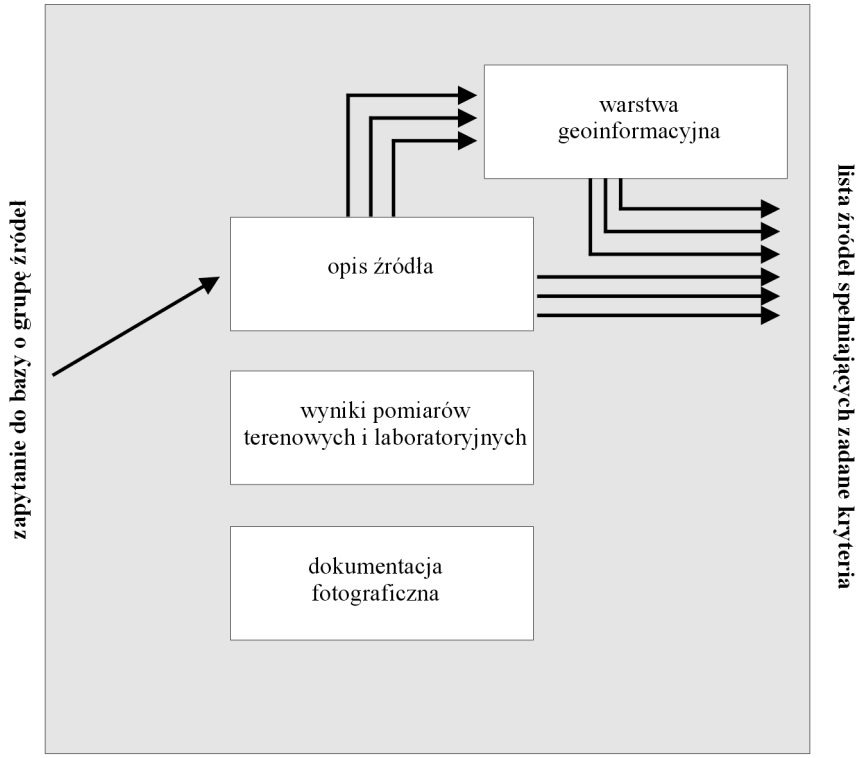
W przypadku prostego zapytania, dotyczącego pojedynczego źródła, użytkownik uzyskuje zbiór informacji o źródle z wszystkich baz danych, przy czym informacja o składzie chemicznym i dokumentacji fotograficznej może mieć złożony charakter i składać się z wielu rekordów (ryc. 2.8.1).



Ryc. 2.8.1. Schemat przebiegu wyszukiwania informacji w przypadku zapytania o pojedyncze źródło
Fig. 2.8.1. Scheme of the searching course in the case of query about a single spring

W przypadku złożenia zapytania o charakterze filtra, które ma na celu znalezienie źródeł spełniających określone kryteria (np. leżących w obrębie określonego powiatu) odpowiedzią bazy danych jest lista wyselekcjonowanych źródeł oraz wskazanie ich na mapie (ryc. 2.8.2). Filtr bazy danych może mieć także złożony charakter, obejmując jednocześnie kilka zmiennych. Docelowo planowane

jest również umożliwienie filtrowania bazy danych w oparciu o wyniki oznaczeń laboratoryjnych i badań terenowych (ryc. 2.8.3).

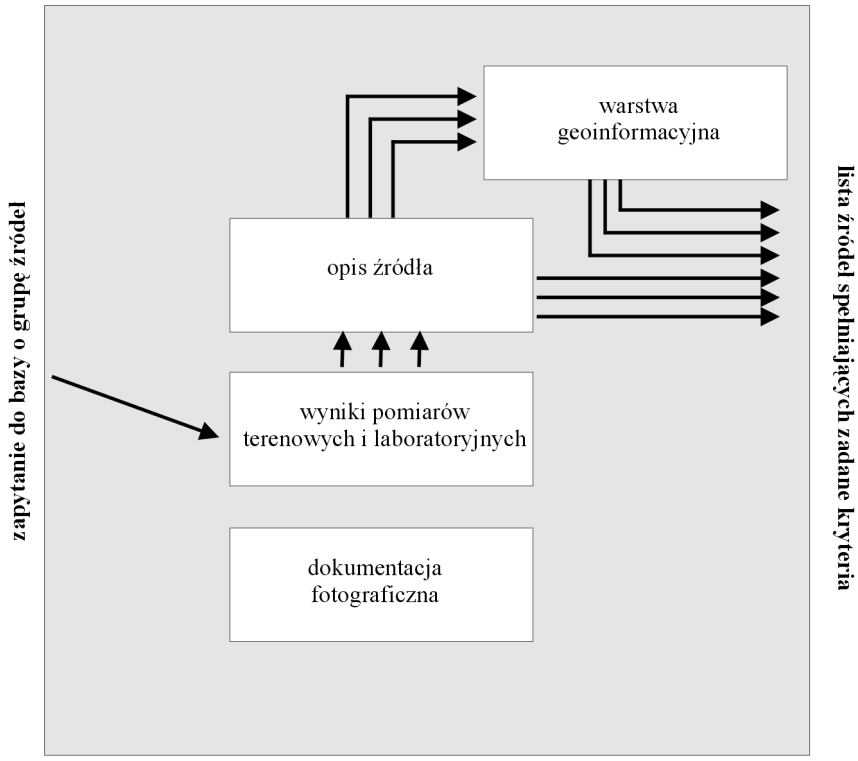


Ryc. 2.8.2. Schemat przebiegu wyszukiwania informacji w przypadku zapytania o grupę źródeł spełniających określone kryteria
Fig. 2.8.2. Scheme of the searching course in the case of query about a group of springs fulfilling specified criteri

Udostępnianie danych

Szerokie możliwości w zakresie prezentowania uporządkowanej informacji o źródłach daje Web-GIS. Jest to platforma udostępniania danych zgromadzonych w Systemach Informacji Geograficznej w sieci Internet. Cechą charakterystyczną Web-GIS jest maksymalne uproszczenie interfejsu dostępu do baz danych, który od strony użytkownika nie wymaga specjalistycznego oprogramowania, ani wiedzy informatycznej.

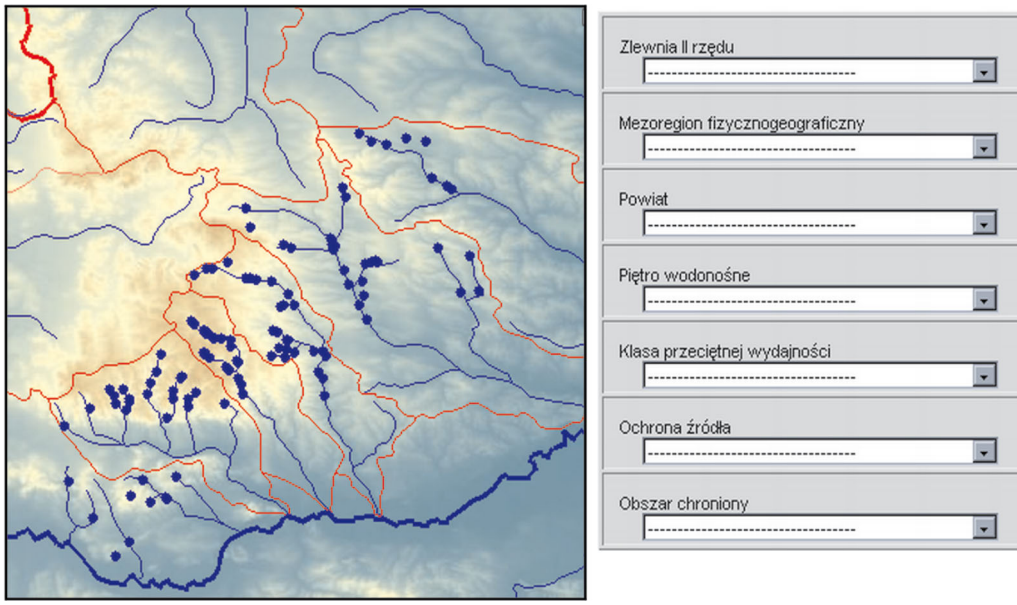
Bazę danych źródeł Wyżyny Śląskiej i Małopolskiej udostępniono w sieci Internet za pośrednictwem apletu „JShape" działającego w środowisku „Java-Sun". Oprogramowanie to pozwala na wizualizacje obiektów (źródeł) zapisanych w bazie geoinformacyjnej – ryc. 2.8.4 (Projekt... 2006). Zaletą tego oprogramowania jest niski koszt oraz współpraca z powszechnie używanymi w GIS forma-



Ryc. 2.8.3. Schemat przebiegu wyszukiwania informacji w przypadku zapytania do bazy danych wyników pomiarów terenowych i laboratoryjnych
Fig. 2.8.3. Scheme of the searching course in the case of query about field and laboratory measurements database

tami plików. Ponieważ program ten jest wykonywany po stronie użytkownika, a nie serwera, nie pozwala on na pracę z większymi bazami danych. Przy takim rozwiązaniu istnieje bowiem konieczność każdorazowego przesłania użytkownikowi sieci praktycznie całej zawartości bazy oraz apletu do jej przetwarzania. Dalszy rozwój bazy danych będzie więc związany z oprogramowaniem pracującym po stronie serwera, gdzie do końcowego użytkownika przesyłany jest jedynie wynik zapytania. Mimo znacznie większych wymagań sprzętowych serwera, przy takim rozwiązaniu łatwiej zachować bezpieczeństwo danych, utworzyć algorytmy obsługi ewentualnych błędów, a przede wszystkim – zdecydowanie ograniczyć wielkość przesyłanych plików.

Ważnym zagadnieniem przy opracowywaniu internetowej bazy danych jest opracowanie zasad dostępu do nich. Utworzona baza ma służyć przede wszystkim propagowaniu informacji o występowaniu źródeł. Przeciętnemu użytkownikowi Internetu baza ta nie udostępnia większości surowych wyników pomiarów terenowych i laboratoryjnych, dając jednakże informacje (w postaci notki biblio-



Ryc. 2.8.4. Panel filtrowania bazy danych
Fig. 2.8.4. The filtering panel for database

graficznej), gdzie je można znaleźć w formie publikacji naukowej. Rozwiązanie to wynika nie tylko z chęci zapobieżenia nieuprawnionego wykorzystania surowych danych pomiarowych. Ważne jest, przede wszystkim, aby nie pozostawić użytkownika bazy z surowymi wynikami, ale umożliwić mu dotarcie do opracowań, które zawierają interpretacje i dyskusję tych wyników oraz wszystkie uwagi dotyczące metodyki przeprowadzonych pomiarów. Szerszy dostęp do danych pomiarowych przewidziany jest jedynie dla instytucji prowadzących własne badania naukowe na danym obszarze. Wówczas, baza może stanowić dobrą platformę dostępu do wyników badań prowadzonych przez różnych autorów.

Baza rozwijana jest w ten sposób, aby w przyszłości istniała możliwość jej uzupełniania drogą internetową przez innych użytkowników z ośrodków naukowych. W związku z tym, każdy rekord wprowadzony do bazy zawiera „podpis" jego autora. Dzięki temu, jedynie on ma uprawnienia do modyfikacji wprowadzonych danych oraz decyzji o zakresie ich udostępnienia w sieci Internet.

Podsumowanie

Źródła są cennymi obiektami przyrodniczymi. Informacja o nich nie jest dziś niestety wystarczająco rozpropagowana. Wykorzystanie Systemów Informacji Geograficznej w Internecie mogłoby ułatwić dotarcie do informacji o źródłach osobom zajmującym się planowaniem przestrzennym oraz samorządom lokalnym.

Zakres bazy danych oraz sposób jej opublikowania w Internecie w znacznej mierze zależy od przyjętej skali opracowania. Zaletami zastosowanej tu platformy WebGIS są stosunkowo niskie koszty udostępniania informacji i umożliwienie powszechnego dostępu do nich. W przyszłości tego typu bazy mogłyby funkcjonować jako platforma wymiany danych – zwłaszcza w przypadku tworzenia opracowania w skali ogólnopolskiej.

Summary

Database of springs of the Śląska and Małopolska Uplands – methodological remarks

The chapter presents the database of springs of the Śląska and Małopolska Uplands. The database was created to provide the information about the springs among the country planners, local government, people employed in environmental protection institutions and for the educational purposes as well. The database is partially available for the internet users on the Web-GIS software platform. Constructing the database involved the decisions concerning the rules of data access. Constructed database does not share most of the results of raw laboratory and field measurements with most of the internet users. The emphasis is rather put on an enabling the users to make the most of the information in scientific publications related to the spring. The extent of the information included in the database should be strictly related to the extent of study area and its diversity. The main advantage of the Web-GIS solution is decreasing costs of publishing and making easier to popularize information about the springs. In the future that kind of database should be considered as the platform of sharing data among authors representing different institutions.

3. HYDROLOGICZNE I HYDROGEOLOGICZNE BADANIA ŹRÓDEŁ

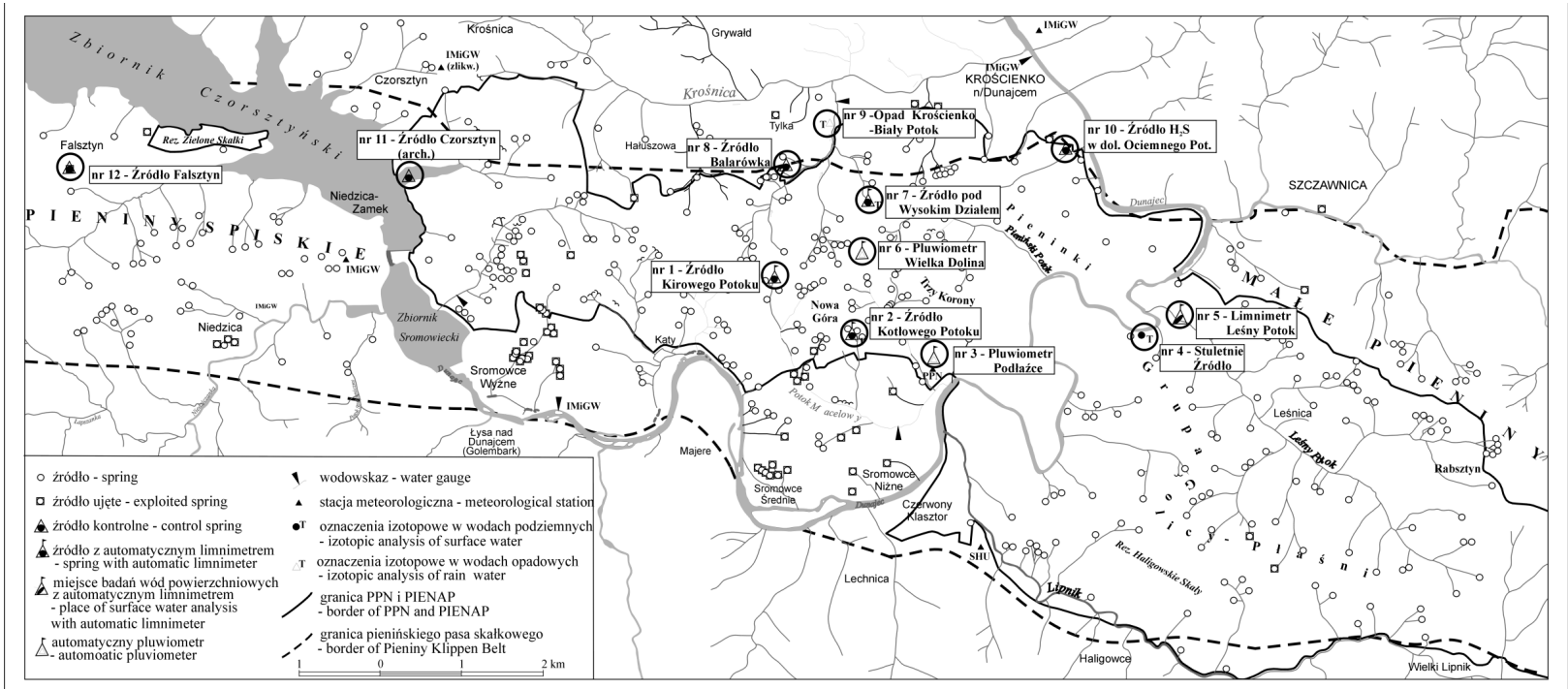
Włodzimierz Humnicki
Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Uniwersytet Warszawski
02-089 Warszawa, ul. Żwirki i Wigury 93, w.humnicki@uw.edu.pl

3.1. Reżim hydrogeologiczny źródeł pienińskich na przykładzie źródła Balarówka w Tylce

Wstęp

Badania naturalnych wypływów wód podziemnych odgrywają ważną rolę w rozpoznaniu regionalnych warunków hydrogeologicznych obszarów górskich, a w szczególności Parków Narodowych, gdzie ze względu na ochronę przyrody inne metody badawcze mogą być stosowane jedynie w bardzo ograniczonym zakresie. Szczególnego znaczenia nabierają zatem obserwacje stacjonarne źródeł, które pozwalają prześledzić zjawiska przyrodnicze w cyklu rocznym lub wieloletnim. Znaczenie tych badań jest niepodważalne nawet wtedy, gdy cykle obserwacyjne są niezbyt długie (Małecka 1985; Humnicki 1989; Staśko 1999; Bocheńska i in. 2002). Warto zaznaczyć, że Pieniński Park Narodowy charakteryzuje się bogactwem źródeł i innych form naturalnego wypływu wód podziemnych. Wskaźnik krenologiczny wynosi tu 7,2 źr/km^2 (Małecka, Humnicki 2001, 2002).

Na początku lat 70. XX w. zorganizowana została na terenie Tatr i Podhala rozległa sieć systematycznych obserwacji stacjonarnych wód podziemnych w wytypowanych źródłach i studniach, obejmująca również obszar pienińskiego pasa skałkowego (Małecka, Lipniacka 1990; Małecka 1996b). Na obszarze Pienin właściwych, w latach 1975−1982, obserwowane było źródło w Czorsztynie (nr 11 − ryc. 3.1.1), usytuowane w dolinie Dunajca, w miejscu zatopionym dziś przez wody Zbiornika Czorsztyńskiego (Małecka, Humnicki 2001). Pozostały obszar Pienin właściwych pozbawiony był ciągłych obserwacji źródeł, z wyjątkiem prowadzonych przez Kostrakiewicza (2002) kilkuletnich badań źródła siarczkowego w dolnej części doliny Ociemnego Potoku (nr 10).



Ryc. 3.1.1. Lokalizacja punktów badawczych.
Fig. 3.1.1. Position of the researched points.

W związku z powyższym, w celu szczegółowego rozpoznania warunków hydrogeologicznych Pienin, koniecznym stało się rozbudowanie sieci obserwacji stacjonarnych (Humnicki 2006a; ryc. 3.1.1). Poniżej przedstawiono wyniki stacjonarnych i okresowych obserwacji źródła kontrolnego Balarówka, które dostarczyły cennych informacji odnośnie reżimu hydrogeologicznego źródeł pienińskich.

Położenie i wydajność źródła Balarówka

Obserwowane w latach 1999−2004 źródło Balarówka (nr 8 − ryc. 3.1.1) położone jest po północnej stronie grzbietu Pienin właściwych, w zlewni Białego Potoku, przy drodze prowadzącej do miejscowości Tylka, w pobliżu granicy Pienińskiego Parku Narodowego. Źródło to można zaklasyfikować do szczelinowych, ekranowanych zwietrzeliną, a pod względem położenia geomorfologicznego − do zboczowych. Z uwagi na fakt, że jest to silnie zaangażowana tektonicznie strefa kontaktu fliszowych utworów pienińskiego pasa skałkowego z fliszem magurskim, nie można wykluczyć genetycznego związku źródła z jakąś dyslokacją tektoniczną.

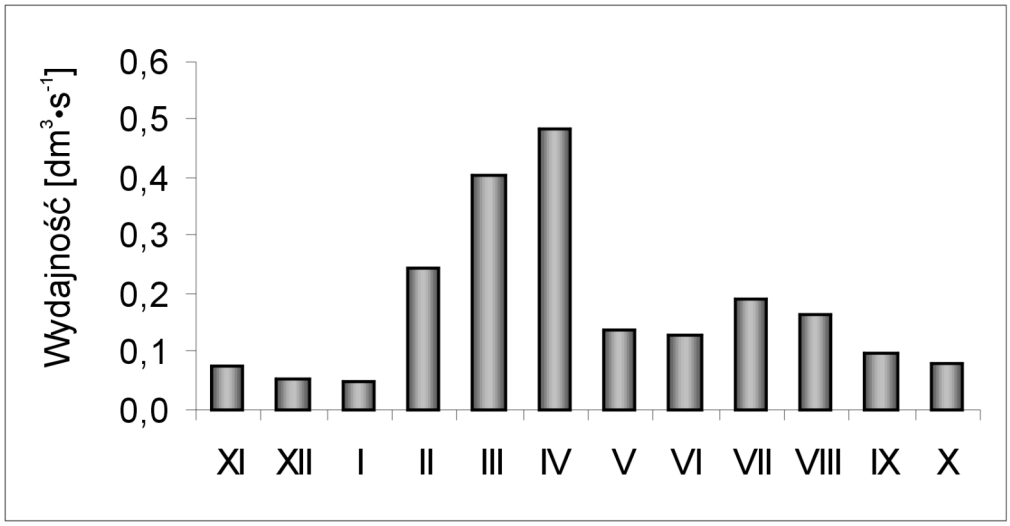
Źródło Balarówka jest źródłem okresowym. Na podstawie średnich rocznych wydajności należy zaliczyć je do VI klasy Meinzera (Pazdro, Kozerski 1990) − tab. 3.1.1.

Tabela 3.1.1

Wydajności charakterystyczne źródła Balarówka [$dm^3 \cdot s^{-1}$]
Characteristic yields of the Balarówka spring [$dm^3 \cdot s^{-1}$]

Wydajność Q	Rok hydrologiczny						Okres 1999−2004
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	
Q_{max}	1,80	1,80	1,00	1,67	0,45	1,67	1,67
$Q_{śr.}$	0,26	0,24	0,11	0,17	0,12	0,18	0,18
Q_{min}	0,01	0,01	0	0,01	0,04	0	0

Najwyższe wydajności notowano w marcu i kwietniu, w czasie wiosennego topnienia pokrywy śnieżnej i w okresie następującym bezpośrednio po nim. Wzrost wydatku, związany z letnimi opadami, był zdecydowanie mniejszy i miał znaczenie drugorzędne. Ilustruje to dobrze rozkład średnich miesięcznych wydajności źródła, który jednoznacznie wskazuje na roztopowo-opadowy charakter zasilania (ryc. 3.1.2).

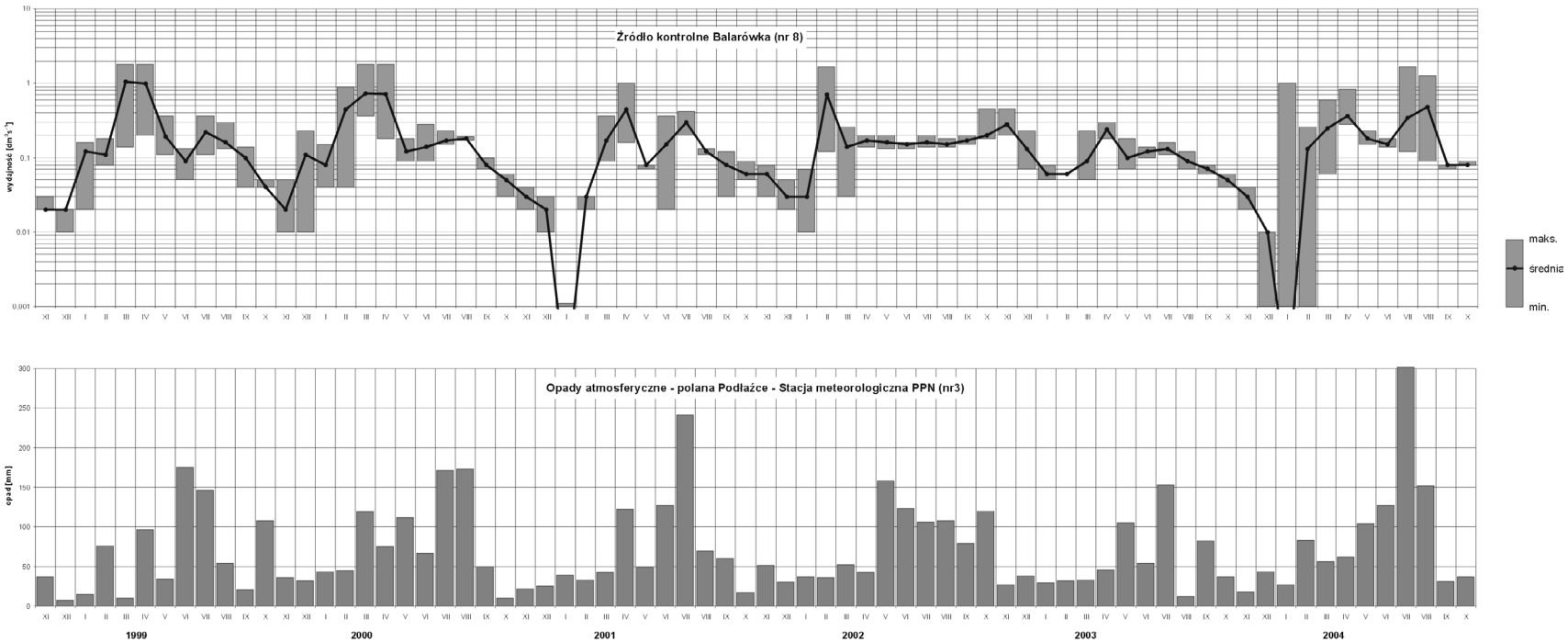


Ryc. 3.1.2. Średnie miesięczne wydajności źródła Balarówka w okresie 1999−2004.
Fig. 3.1.2. Monthly average yields of the Balarówka spring in the period 1999−2004.

W przebiegu zmian wydajności źródła na tle miesięcznych sum opadów atmosferycznych (ryc. 3.1.3), można zauważyć wyraźną prawidłowość. W miesiącach następujących po zakończeniu roztopów, od kwietnia do listopada, wydajność źródła sukcesywnie obniża się, co może trwać nawet do stycznia następnego roku. Tendencja ta jest wynikiem zmniejszania się zasobów wód podziemnych w masywie. Jej zahamowanie i niewielki wzrost wydajności następuje jedynie w miesiącach, w których suma opadów zbliża się do wartości 150 mm lub wartość tę znacznie przekracza (1999 r.: VI – 175 mm, VII – 146 mm; 2000 r.: VII – 171 mm, VIII – 173 mm; 2001 r.: VII – 241 mm). Następuje wówczas zrównoważenie ubytków zasobów wód podziemnych. Brak takiego uzupełniającego zasilania w wyjątkowo suchym październiku 2000 r. (10 mm), znalazł swoje odbicie w całkowitym zaniku wypływu ze źródła w styczniu 2001 r.

W ciepłym półroczu 2002 roku miały miejsce dość równomiernie rozłożone w czasie, wysokie opady, których sumy miesięcznie przekraczały 100 mm (V−VIII oraz X). Spowodowało to stabilizację wydajności źródła w miesiącach jesienno-zimowych, a nawet jej niewielki wzrost. Zaobserwowano także wyższą niż zwykle wydajność źródła w styczniu i lutym następnego roku.

W 2003 roku na znacznym obszarze Polski zanotowano suszę hydrologiczną. Po niezbyt śnieżnej zimie i zakończeniu topnienia pokrywy śnieżnej około 20 marca nastąpił niewielki wzrost wydajności źródła w kwietniu, po czym rozpoczął się długi okres sukcesywnego zmniejszania wydajności, nie przerwany



Ryc. 3.1.3. Średnie miesięczne wydajności źródła Balarówka na tle miesięcznych sum opadów.
Fig. 3.1.3. Mean monthly yields of the Balarówka spring against monthly sums of atmospheric precipitation.

nawet wysokimi opadami lipcowymi (140 mm). Proces ten wskazuje, że zasoby wód podziemnych w okresie wiosennym nie zostały w wystarczającym stopniu uzupełnione. Wyjątkowo suchy sierpień (12 mm) i niewielkie opady w następnych miesiącach spowodowały dalszy, stopniowy regres wydajności źródła, aż do całkowitego zaniku wypływu w okresie od grudnia 2003 r. do lutego 2004 roku.

Z kolei, rok 2004 był nietypowy z uwagi na rekordowo wysokie opady w lipcu (302 mm) i sierpniu (152 mm). Dlatego właśnie wówczas, a nie wiosną, notowano najwyższą wydajność źródła.

Analiza recesji wydatku źródła

Codzienne obserwacje umożliwiły analizę zmian wydajności w okresach, kiedy źródło znajdowało się w fazie reżimu własnego, niezależnego od chwilowego zasilania opadami atmosferycznymi lub topniejącym śniegiem i drenowało wyłącznie wody zmagazynowane wcześniej w zbiorniku wód podziemnych.

Z metodycznego punktu widzenia, do analizy recesji należy brać okres praktycznie bezopadowy. Ponieważ możliwość znalezienia dostatecznie długiego, miarodajnego okresu bezopadowego jest na obszarach górskich bardzo ograniczona, każdorazowo indywidualnie traktowano okres obniżania się wydajności źródła. Słuszność takiego podejścia potwierdzają Koniar-Schaefer (1972) i Wieczysty (1982), którzy sugerują że opadu nie powodującego przerwania recesji nie należy uważać za opad skuteczny, o ile krzywą recesji opisuje jedno równanie.

W wyniku szczegółowej analizy przebiegu wydajności źródła na tle dobowych sum opadów atmosferycznych ze Stacji PPN na polanie Podłaźce (nr 3), z całego sześcioletniego okresu obserwacyjnego wybrano 10 okresów recesji, o długości od około dwóch tygodni do półtora miesiąca. W wyjątkowo suchym 2003 roku zdecydowano się wyznaczyć unikalny okres recesji źródła, który trwał niemal przez pięć miesięcy (od lipca do listopada), pomimo iż występowały wówczas nawet znaczne opady atmosferyczne (tab. 3.1.2, ryc. 3.1.4).

Do opisania krzywej recesji wykorzystano najprostsze i najczęściej stosowane w obliczeniach hydrogeologicznych równanie Maillete'a (Dębski 1970; Castany 1972; Wieczysty 1982; Pazdro, Kozerski 1990; Jokiel 1994b; Jokiel, Maksymiuk 1997; Soczyńska 1997). Wykorzystując parametry równania, obliczono potencjał zasobności źródła *W* oraz czas przebywania wody w systemie wodonośnym *T*.

Współczynnik recesji źródła α, opisujący kształt krzywej wysychania źródła, charakteryzuje prędkość sczerpywania się zasobów wód podziemnych drenowanych przez źródło w okresie bezopadowym, kiedy zachodzi proces opróżniania się zbiornika zasilającego. Uzyskane wartości współczynnika recesji α, poza jednym wyjątkiem, są niższe od najczęściej spotykanego zakresu (0,04–

Tabela 3.1.2

Okresy recesji wydajności źródła Balarówka
Regression periods of the Balarówka spring yield

L.p.	Charakterystyka okresu recesji Characteristic of regression period						Parametry źródła Spring parameters		
	Okres recesji	Suma opadów [mm]	Maksymalny opad dobowy [mm]	Czas t [doby]	Q_0 [$dm^3 \cdot s^{-1}$]	Q_t [$dm^3 \cdot s^{-1}$]	Współczynnik recesji α	Czas trwania recesji $T = \alpha^{-1}$ [doby]	Potencjał zasobności $W = Q_0 \cdot \alpha^{-1}$ [m^3]
1.	14–30 V 1999	10,2	2,8	16	0,180	0,106	0,0332	30	468
2.	23 VIII–23 IX 1999	5,1	1,9	31	0,150	0,095	0,0147	68	882
3.	10–22 IV 2000	2,0	1,7	12	0,900	0,200	0,1253	8	620
4.	22 IV–18 V 2000	42,0	19,1	26	0,200	0,113	0,0220	45	785
5.	25 IX –26 X 2000	3,1	3,1	31	0,075	0,038	0,0219	46	296
6.	26 III–4 V 2002	42,2	14,6	39	0,225	0,129	0,0143	70	1359
7.	6 VII–23 XI 2003	274,3	29,0	140	0,150	0,026	0,0125	80	1037
8.	17 V–3 VI 2004	47,4	7,6	17	0,180	0,150	0,0125	93	1244
9.	26 VI–16 VII 2004	33,7	13,2	20	0,164	0,120	0,0156	64	908
10.	7 VIII–6 IX 2004	150,3	34,4	30	0,556	0,200	0,0341	29	1408

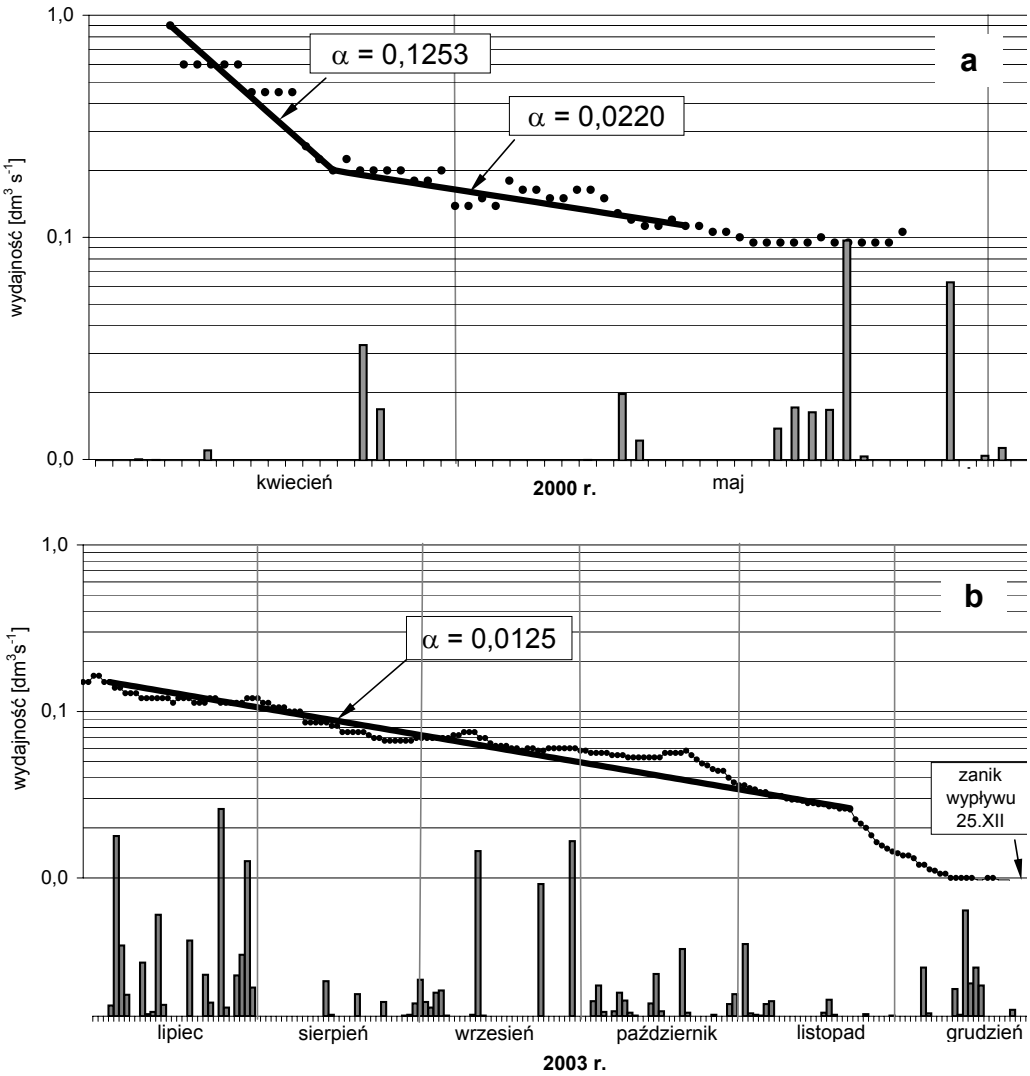
0,7), podawanego przez Pazdro i Kozerskiego (1990). Może to wynikać ze słabej przepuszczalności zwietrzeliny utworów fliszowych w strefie przyźródłowej. Maksymalna wartość potencjału zasobności nieznacznie przekroczyła 1400 m^3, a to oznacza, że źródło Balarówka drenuje niewielki zbiornik o charakterze lokalnym. Potwierdzeniem krótkich i płytkich dróg krążenia jest czas przebywania wody w systemie wodonośnym, który nie przekracza trzech miesięcy.

Charakterystyczne jest to, że w okresie następującym po zakończeniu roztopów, z reguły występuje krótki okres bardzo szybkiego szczerpywania się zasobów, w pierwszej kolejności zgromadzonych w pokrywach osadów stokowych, po czym rozpoczyna się wolniejszy drenaż wód podziemnych z głębszych partii spękanego masywu. Graficznym odzwierciedleniem tego procesu, w układzie półlogarytmicznym, są dwa odcinki prostych o różnym nachyleniu, reprezentatywne dla odpowiednich krzywych recesji (ryc. 3.1.4a).

Wartość współczynnika recesji, w konkretnych warunkach hydrogeologicznych, zależy od stopnia napełnienia zbiornika wód podziemnych oraz od czynników meteorologicznych, a w szczególności od warunków jakie miały miejsce przed początkiem recesji. Zagadnieniu temu zostanie poświęcone nieco więcej uwagi.

Dalszą analizę można przeprowadzić w rozbiciu na dwa okresy: wiosenny, trwający około dwóch miesięcy, bezpośrednio po zakończeniu roztopów oraz letnio-jesienny, kiedy zasilanie wód podziemnych odbywa się jedynie poprzez infiltrację opadów atmosferycznych.

Pierwszy okres charakteryzuje szybsze sczerpywanie zgromadzonych zasobów wód podziemnych ($\alpha > 220 \cdot 10^{-4}$), niezbyt wysokie potencjały zasobności



Ryc. 3.1.4. Przykładowe krzywe recesji źródła Balarówka w układzie półlogarytmicznym: wiosną 2000 r. (a) i podczas suszy hydrologicznej w drugiej połowie 2003 roku (b), na tle dobowych sum opadów.
Fig. 3.1.4. Examples of regression curves of the Balarówka spring in the semi-logarithmic scale: in the spring 2000 (a) and during hydrological drought in the second half of 2003 (b), against diurnal sums of precipitation.

($W<785\,m^3$) i krótkie czasy przebywania wody w systemie ($T<40$ dni). Dla okresu letnio-jesiennego typowe jest wolniejsze szczerpywanie się zasobów wód podziemnych i dłuższe czasy przebywania wody w systemie. Potencjały zasobności są natomiast zróżnicowane i zależą od wcześniejszego, uzupełniającego zasilania opadami.

Obraz komplikują nietypowe zimy ze wczesnym zanikiem pokrywy śnieżnej oraz intensywne opady atmosferyczne w sezonie letnim. W odmienny sposób odbywał się np. drenaż zbiornika wód podziemnych zasilającego źródło w roku 2002, kiedy wystąpiła dość nietypowa zima z największymi opadami śniegu i znacznej grubości pokrywą w pierwszych miesiącach roku hydrologicznego (XI-II). Topnienie śniegu i intensywne zasilanie drenowanego przez źródło zbiornika rozpoczęło się wyjątkowo wcześnie, bo już w lutym i trwało do drugiej dekady marca. W końcu marca rozpoczął okres recesji, który trwał przez cały kwiecień aż do początku maja. Charakteryzował go większy niż zwykle potencjał zasobności (W=1359 m^3), dłuższy czas przebywania wody (T=70 dni) i znacznie mniejsza prędkość sczerpywania zasobów ($\alpha=143\cdot10^{-4}$).

Przykładem gwałtownego, intensywnego uzupełnienia zasobów wód podziemnych w okresie letnim jest koniec lipca 2004 roku. Był to moment, gdy masyw nie był jeszcze w dostatecznym stopniu nasycony po suszy hydrologicznej z 2003 roku, czego przejawem były zaniki niektórych okresowych źródeł jeszcze w połowie lipca. W trakcie wezbrania i towarzyszącego mu spływu powierzchniowego, wywołanego kilkudniowymi, ulewnymi deszczami, znaczna część wód infiltrowała w głąb zbiornika, który został całkowicie napełniony. Nasycony został wtedy zarówno spękany masyw skalny, jak i zalegająca na nim warstwa zwietrzeliny. Łatwo wytłumaczalne jest to, że z następującą po tych olbrzymich opadach recesją (7VIII–6IX) związany jest największy potencjał zasobności (W=1408 m^3). Źródło zaczęło drenować wody, które infiltrowały w czasie opadów lipcowych, niespełna miesiąc wcześniej (T=29 dni). Szybkie sczerpywanie zasobów wskazuje, że przeważał w tym okresie głównie drenaż ze strefy przypowierzchniowej. Powyższe prawidłowości odzwierciedlają dane zestawione w tabeli 3.1.3.

Tabela 3.1.3

Charakterystyka hydrogeologiczna źródła Balarówka
Hydrogeological characteristic of the Balarówka spring

Parametr reżimu źródła	Okres wiosenny		Okres letnio-jesienny	
	Rok przeciętny	Rok 2002 (wyjątkowo wczesne topnienie pokrywy śnieżnej)	Rok przeciętny	Rok 2004 (wysokie opady letnie)
Potencjał zasobności W [m^3]	468–785	1359	296–1244	1408
Współczynnik recesji α [$\cdot10^{-4}$]	248–332 (1253)*	143	125–219	341
Czas przebywania wody w systemie T [doby]	30–45 (8)*	70	46–93	28

*) wartości w nawiasie dotyczą okresu bezpośrednio po topnieniu pokrywy śnieżnej

Znajomość sumarycznej, rocznej wydajności źródła Q_r oraz objętości wody V w zbiorniku wód podziemnych przez nie drenowanym, umożliwia wyznaczenie wskaźnika pojemności źródła P (Pazdro, Kozerski 1990). Jako objętość wody przyjęto do obliczeń wyznaczony z krzywych recesji potencjał zasobności. Uzyskane wyniki wskazują, iż zbiornik drenowany przez Balarówkę jest bardzo mały, a wymiana wody wywołana drenażem przez źródło jest szybka i odbywa się co najmniej kilka razy w ciągu roku (tab. 3.1.4).

Tabela 3.1.4

Wymiana wody z zbiorniku zasilającym źródło Balarówka
Water exchange in the reservoir recharging the Balarówka spring

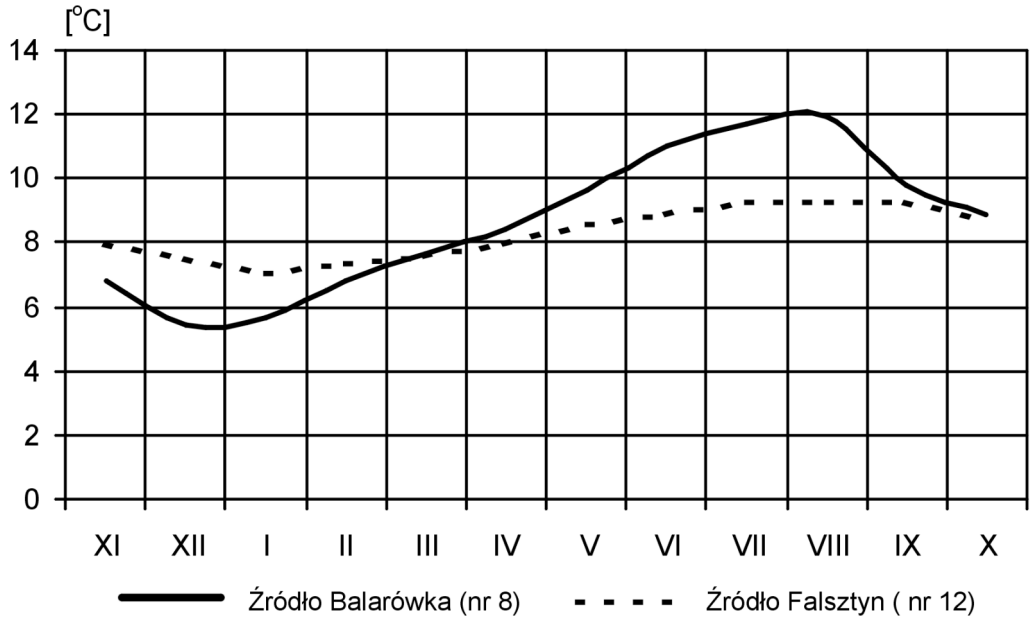
Rok hydrologiczny	Średnia wydajność źródła [$dm^3 \cdot s^{-1}$]	Sumaryczna roczna wydajność źródła Q_r [m^3]	Objętość wody w zbiorniku drenowanym przez źródło V [m^3]		Wskaźnik pojemności źródła $P = Q_r \cdot V^{-1}$ (min–maks)
			min	maks	
1999	0,260	8199	296	1408	5,8–27,7
2000	0,237	7474			5,3–25,2
2001	0,122	3847			2,7–13,0
2002	0,173	5455			3,9–18,4
2003	0,118	3721			2,6–12,6
2004	0,175	5519			3,9–18,6
Średnia z lat 1999–2004	0,181	5703	908		6,3

Cechy fizyczne i chemiczne wody

Temperatura wody i jej wahania dostarczają cennych informacji o warunkach zasilania i krążenia wód podziemnych. Wody źródła Balarówka charakteryzują się zmienną temperaturą, wyraźnie nawiązującą do przebiegu temperatury powietrza w okresie roku hydrologicznego (ryc. 3.1.5).

Decydujący wpływ czynnika klimatycznego potwierdza tezę o niezbyt głębokich drogach krążenia wód podziemnych zasilających źródło. Dla porównania, położone na skrzyżowaniu dyslokacji tektonicznych i zasilane z większej głębokości źródło w Falsztynie, charakteryzuje się bardziej stabilną temperaturą wody.

Charakterystykę reżimu źródła uzupełniają wyniki kilkunastu analiz chemicznych, które obejmowały oznaczenia składu jonowego oraz mineralizacji ogólnej. Ogólną charakterystykę zmienności przedstawiono wzorem Kurłowa, w którym podano minimalne i maksymalne wartości poszczególnych elementów w całym okresie badawczym (tab. 3.1.5).



Ryc. 3.1.5. Średnie miesięczne temperatury źródeł Balarówka i Falsztyn w okresie 2000−2004.
Fig. 3.1.5. Monthly average temperatures of the springs Balarówka and Falsztyn in the period 2000−2004.

Tabela 3.1.5

Zmienność chemizmu podana wzorem Kurłowa
Chemical variability presented on the basis of the Kurlov's formula

Zapis wzorem Kurłowa NO_3^- [mg·dm^{-3}], M [g·dm^{-3}], jony [% mvali], T [°C]	Liczba analiz
$NO_3^{1,6-23,0}\ M^{0,295-0,400}\ \frac{HCO_3^{70-85}SO_4^{8-24}Cl^{2-5}}{Ca^{61-89}Mg^{9-38}Na^{1-6}}\ T^{3,5-12,8}$	n = 17

Analiza danych prowadzi do wniosku o stosunkowo niewielkiej zmienności chemizmu badanego źródła. We wszystkich próbach, wśród anionów zawsze zdecydowanie dominował jon wodorowęglanowy, a wśród kationów – wapniowy. Najmniejszą rolę odgrywały anion chlorkowy i kation sodowy. Wskaźnik zmienności mineralizacji wyniósł 1,36.

Zmienność składu jonowego, powodująca przesunięcia w klasyfikacji Szczukariewa-Prikłońskiego, dotyczy jonu magnezowego, a w mniejszym stopniu, siarczanowego (tab. 3.1.6).

Późną jesienią i zimą, przy najmniejszej wydajności źródła, stwierdzono tendencję wzrostu stężenia jonu wapniowego przy równoczesnym zmniejszaniu się koncentracji jonu magnezowego. Fakt ten można tłumaczyć dopływem w tym okresie wód z nieco głębszych partii masywu, co wskazywałoby na istnienie, niezbyt wyraźnej, pionowej strefowości hydrochemicznej wód podziemnych w Pieninach, bądź też było wynikiem ujawnienia się roli wspomnianej wcześniej dyslokacji tektonicznej. Wzrost zawartości azotanów wiosną i latem (do 23,0 $mg \cdot dm^{-3}$) ma wyraźne przyczyny antropogeniczne.

Tabela 3.1.6

Zmienność typów hydrochemicznych wód źródła Balarówka
Hydrochemical types variability of of the Balarówka water spring

Klasyfikacja wg Szczukariewa-Prikłońskiego			
Nr klasy	Typ wody	Liczba analiz	% udział
9	HCO_3–Ca	10	59
18	HCO_3–Ca–Mg	6	35
27	HCO_3–SO_4–Ca	1	6
	Σ	17	100

Podsumowanie

W kształtowaniu całorocznych zasobów wód podziemnych drenowanych przez źródło Balarówka decydujące jest zasilanie na przełomie zimy i wiosny, związane z roztopami i, w znacznie mniejszym stopniu, opadami deszczu w tym okresie. W sezonie letnim i jesiennym wydajność źródła związana jest nie tyle z zasilaniem zbiornika wód podziemnych w tym okresie, co ze stanem jego napełnienia w okresie wczesnej wiosny.

Po zakończeniu roztopów, z reguły obserwowany jest krótki okres bardzo szybkiego szczerpywania zasobów, zgromadzonych w przypowierzchniowej warstwie zwietrzeliny, po czym rozpoczyna się wolniejszy drenaż wód podziemnych z głębszych partii spękanego masywu. Graficznym odzwierciedleniem tego procesu są, w układzie półlogarytmicznym, dwa, różnie nachylone, odcinki prostych reprezentatywne dla krzywych recesji.

Zbiornik drenowany przez źródło Balarówka jest bardzo mały, a wymiana wody wywołana drenażem jest szybka i odbywa się co najmniej kilkakrotnie w ciągu roku. Tezę o niezbyt głębokich drogach krążenia wód potwierdza również ich temperatura, wyraźnie pozostająca pod wpływem warunków meteorologicznych.

Okresowa zmienność wzajemnej proporcji między jonem wapniowym i magnezowym może świadczyć o istnieniu pionowej strefowości hydrochemicznej lub też wynikać z dopływu wód wzdłuż dyslokacji tektonicznej i ich mieszania się z wodami płytszego krążenia.

Summary

Hydrogeological regime of springs in the Pieniny Mts on the example of the Balarówka spring in Tylka

The chapter presents the results of six year stationary observations of the Balarówka spring located in the contact zone between the Pieniny Klippen Belt flysch formations and Magura flysch of the Outer Carpathians. The research provided valuable information concerning hydrogeological regime of the Pieniny Mts springs.

The groundwater reservoir drained by the Balarówka spring is recharged mainly by the snow melting during spring thaws and in a smaller degree by rain waters falling in that season. The yield of the spring during summer–autumn season is connected much more with a groundwater reservoir refilling in the early spring, than with the atmospheric precipitation in the summer and autumn seasons.

In the period directly after snow thawing it is observed the short-term, fast bailing of the spring water reservoir. The groundwater occurring in the subsurface layer of the weathered rocks are discharged in the first order. After that, the slower drainage of water from deeper parts of the fractured massive begins. Graphical picture of this process is shown by two straight sections of the regression curve with different slopes.

The groundwater reservoir drained by the Balarówka spring is very small. The water exchange induced by drainage is fast and takes place a few times a year. Thesis on shallow water circulation recharging the spring is proved by thermal regime of the spring water which is strictly connected with surface air temperatures.

Periodic variation of Ca to Mg ionic ratio may suggest either the occurrence of vertical hydrochemical zoning or the influx of waters along tectonic dislocation and subsequent mixing with waters of shallow circulation.

Sebastian Buczyński
Zakład Hydrogeologii Podstawowej, Uniwersytet Wrocławski,
50-204 Wrocław, pl. M. Borna 9, sebu@ing.uni.wroc.pl

Bartłomiej Rzonca
Zakład Hydrologii, Uniwersytet Jagielloński
30-387 Kraków, ul. Gronostajowa 7, b.rzonca@geo.uj.edu.pl

Alicja Łapinkiewicz
Wydział Biologii i Nauk o Ziemi, Uniwersytet Jagielloński
47-220 Kędzierzyn-Koźle, ul.11 Listopada 12b/8, a.lapinkiewicz@gmail.com

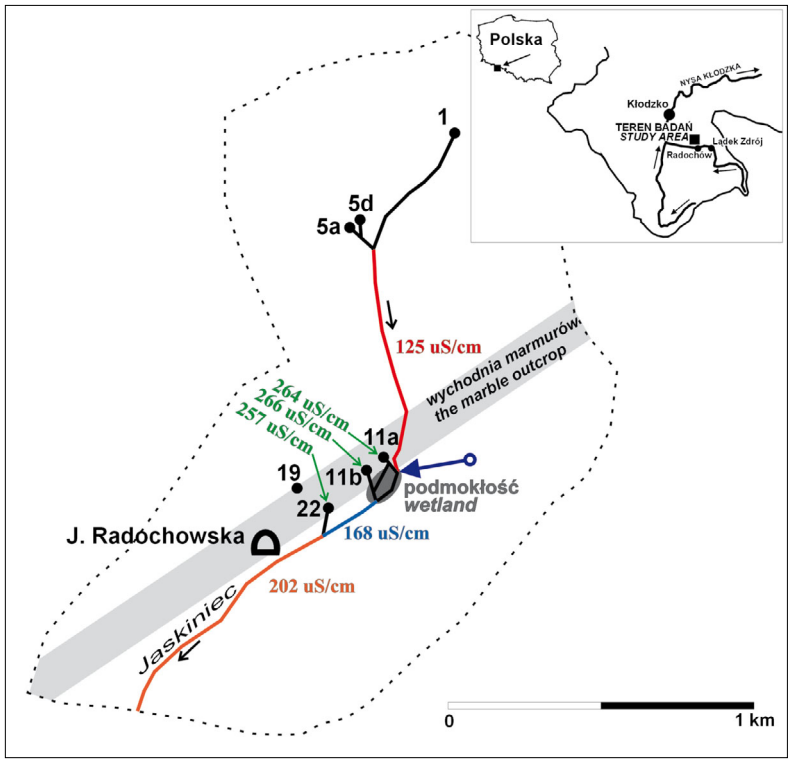
3.2. Model krążenia wód podziemnych w zlewni o złożonej budowie geologicznej w Sudetach

Wstęp

Badania źródeł, prowadzone w obszarach górskich Sudetów, mają za tło szereg dyskusyjnych problemów dotyczących hydrogeologii masywów skał krystalicznych (najczęściej metamorficznych). Najważniejszą kwestią jest zasobność wodna skał krystalicznych i wiążący się z nią czas wymiany wód podziemnych. Bardzo istotne jest także rozpoznanie głębokości penetracji i krążenia wód, a zwłaszcza rola stokowych pokryw zwietrzelinowych. Czynniki te warunkują mechanizmy zasilania źródeł. Zbadanie i zrozumienie powyższych zagadnień ma fundamentalne znaczenie dla rozpoznania wodonośności i zasobów wód w skałach krystalicznych Sudetów, ale płynące stąd wnioski można też uogólniać na inne obszary o podobnej budowie (m.in.: Tomaszewski 1989; Ciężkowski 1989; Staśko 1993, 1996, 2002; Tarka 1993, 1995b; Staśko, Tarka 1993, 2002; Ciężkowski i in. 1997; Zuber, Ciężkowski 1999; Wojtkowiak 2000; Buczyński 2001; Olichwer 2003; Modelska 2004).

Dodatkowe problemy są związane ze stosunkowo częstym występowaniem, w masywach krystalicznych (metamorficznych) Sudetów, różnej wielkości wkładek zmetamorfizowanych wapieni krystalicznych (marmurów). Tak jest w: zlewni Kleśnicy, gdzie w marmurach znajduje się Jaskinia Niedźwiedzia, masywie Krowiarek oraz w okolicach Wojcieszowa (Pulina 1977, 1996; Bocheńska i in. 2002, 2003). Przewarstwienia skał węglanowych, często bardzo niewielkie, występują dość pospolicie na obszarach metamorficznych całej Kotliny Kłodzkiej

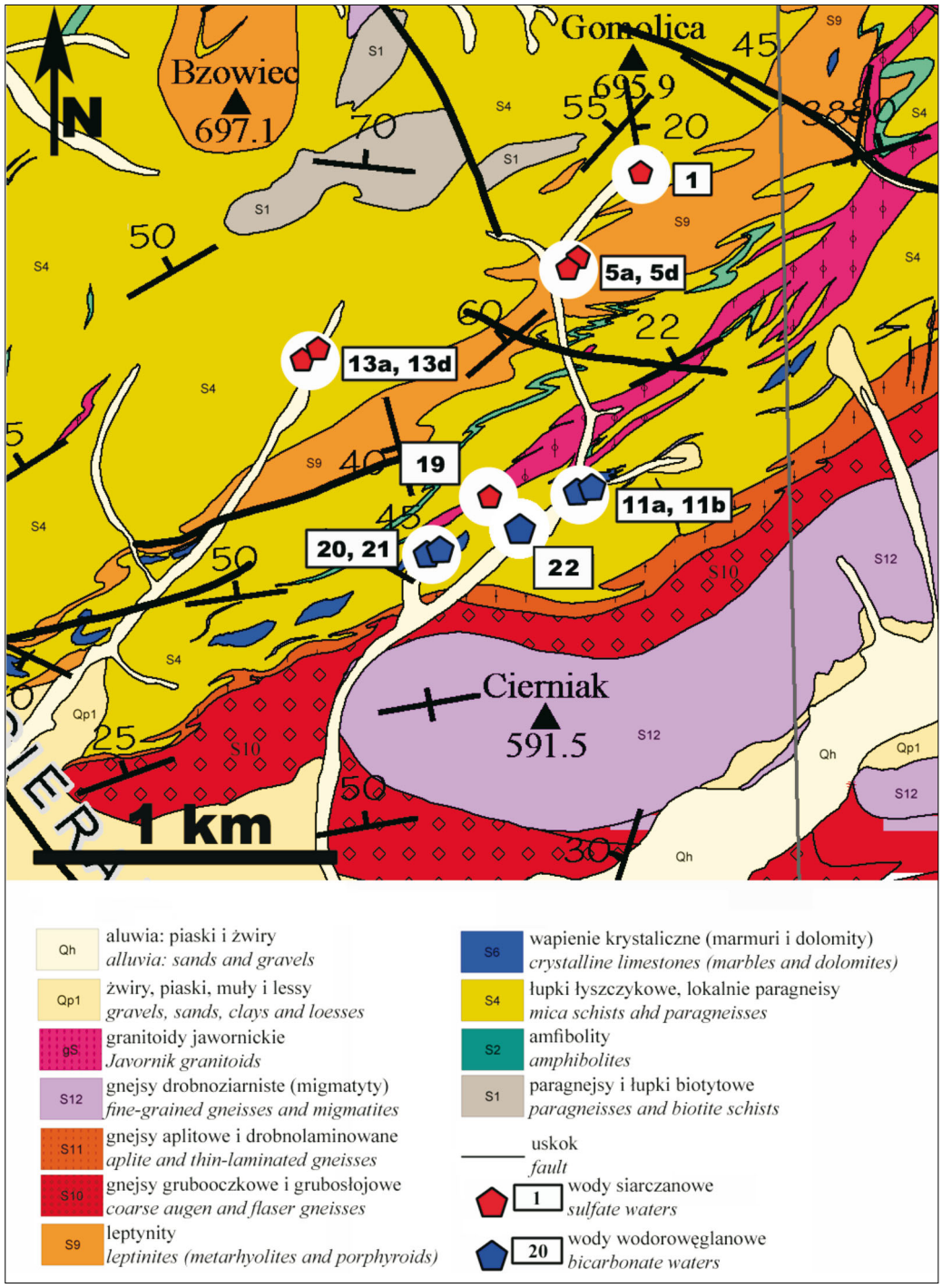
(Pulina 1977, 1996, 1999), a typowym przykładem takiej sytuacji jest opisana poniżej zlewnia Jaskińca (ryc. 3.2.1). Badania krążenia wód na obszarach o budowie mieszanej, gdzie występują serie skał węglanowych i niewęglanowych, tworzące skomplikowane systemy szczelinowo-krasowe, są wyzwaniem dla hydrogeologa czy krenologa (Bieroński, Tomaszewski 1992; Ciężkowski i in. 1992; Bocheńska i in. 2002, 2003; Rzonca i in. 2003).



Ryc. 3.2.1. Położenie badanych źródeł w zlewni Jaskińca
Fig. 3.2.1. Location of researched springs in Jaskiniec catchment

Dotychczasowe badania w zlewni Jaskińca

Obszar badań stanowi zlewnia potoku Jaskiniec w Górach Złotych (ryc. 3.2.1), w której położona jest Jaskinia Radochowska (Pulina 1996; Gawlikowska 2000; Wojtoń 1998; Rzonca i in. 2003). Zlewnię budują skały metamorficzne, głównie gnejsy i łupki, w większości należące do formacji strońskiej. Do formacji tej należą także wapienie krystaliczne (marmury) występujące w formie niewielkich soczewek położonych wzdłuż osi południowy zachód − północny wschód (ryc. 3.2.2). W marmurach tych wyługowana została Jaskinia Radochowska – znany w regionie pomnik przyrody nieożywionej. Do czasu odkrycia Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie była ona uważana za największą jaskinię polskich Sudetów.



Ryc. 3.2.2. Badane źródła na tle budowy geologicznej – wg Rzoncy i in. (2004), zmodyfikowane; jako podkład wykorzystano fragment mapy: Don i in. (2003)
Fig. 3.2.2. The position of the studied springs on the geological structure; modified after Rzonca *et al.* (2004), geological background after Don *et al.* (2003)

Badania wód zlewni Jaskińca, pochodzących głównie ze źródeł, wykonane w maju 2003 r. (Rzonca i in. 2004), pokazały, że możliwe jest wydzielenie na badanym obszarze dwóch różnych chemicznych typów wód źródlanych. Należą do nich wody nazwane „wodami siarczanowymi", związane z niewęglanowymi skałami metamorficznymi oraz „wody wodorowęglanowe", występujące w obrębie soczewki marmurów. Odnotowano znaczne różnice składu chemicznego i wielu parametrów fizykochemicznych pomiędzy wymienionymi typami wód. Jednakże, skład „wód wodorowęglanowych" wskazywał na ich wcześniejsze przebywanie w środowisku analogicznym do tego, w którym występują „wody siarczanowe". Udało się wykazać, że „wody siarczanowe" na drodze swej migracji przechodzą ze skał niewęglanowych w obręb soczewki marmurów i tu wzbogacają się w produkty ługowania węglanów: kationy wapnia i aniony wodorowęglanowe. Wartości innych parametrów, różniące oba typy wód (np. odczyn, mineralizacja, niektóre wskaźniki geochemiczne), są już wtórne w stosunku do zawartości tych dwóch jonów. Wykazano przy okazji ścisłą zależność między budową geologiczną a typem chemicznym wód (ryc. 3.2.2), która niewątpliwie świadczy o długim czasie przebywania wody w środowisku skalnym. Uznano, że w badanych próbkach dominowały wody pochodzące z głębszych systemów krążenia, czyli stref drugiej i trzeciej według klasyfikacji Staśki (2002).

Badania dróg drenażu zbiornika w marmurach

Prowadzone dotychczas badania wykazały kluczowe znaczenie soczewki marmurów, jako lokalnego zbiornika wód podziemnych. Właściwości tego zbiornika i budujących go skał wpływają zarówno na obieg wody i zasilanie źródeł, jak i na kształtowanie składu chemicznego wód źródlanych i podziemnych. O ile o mechanizmie zasilania zbiornika można było w znacznym stopniu wnioskować na podstawie badań składu chemicznego wód (Rzonca i in. 2004, 2005), to sposób drenażu pozostawał dotychczas nierozpoznany. Nie było wątpliwości, że zbiornik jest drenowany przez źródła 11a, 11b i 22, z których wypływają „wody wodorowęglanowe". Wyjaśnienia wymagał natomiast związek wód Jaskińca z wodami podziemnymi.

W 1992 r. Bieroński i Tomaszewski przedstawili szereg modeli krążenia wód w izolowanych soczewkach skał węglanowych otoczonych skałami niewęglanowymi, gdzie jako „typ 2", przytoczyli przykład otoczenia Jaskini Radochowskiej. Według wymienionych autorów skały węglanowe nie sięgają tutaj aż do dna doliny i nie mogą być bezpośrednio drenowane przez ciek. Jednak na najnowszej mapie geologicznej tego obszaru (Don i in. 2003; ryc. 3.2.2), widać, że potok Jaskiniec przecina strefę wychodni marmurów kilkaset metrów od Jaskini Radochowskiej. Wprawdzie strefa ta nie jest ciągła, ale wychodnie marmurów

tworzą strukturę linijną, przecinającą dno doliny. Struktura ta, uproszczona do jednej ciągłej strefy, została pokazana na szkicu (ryc. 3.2.1). Dość oczywista była więc robocza hipoteza, że wody w soczewce mają kontakt z wodami cieku. Jeśli dodatkowo spełnione byłoby założenie, że w warunkach niezaburzonych hydrodynamicznie cieki w strefie klimatu umiarkowanego mają charakter drenujący, to Jaskiniec odbierałby wody z warstwy marmurów.

W górnej części zlewni Jaskińca występują wody o charakterze „wód siarczanowych" – kwaśne, nisko zmineralizowane. Cechy te odzwierciedla skład chemiczny wód potoku. Dopiero poprzez dopływ „wód wodorowęglanowych", w niższym biegu cieku, zwiększa się ich mineralizacja i zmienia charakter chemiczny. Dlatego autorzy uznali, że najłatwiej będzie potwierdzić drenaż zbiornika „wód wodorowęglanowych" w marmurach za pomocą badania przewodnictwa elektrolitycznego właściwego (konduktywności) wód Jaskińca. Pomiary wykonano przy pomocy terenowego pH-konduktometru ELMETRON CPC-401 z automatyczną kompensacją temperatury (temperatura odniesienia dla wszystkich podawanych w pracy pomiarów wynosiła 25ºC). Badania przeprowadzono w siedmiu kolejnych dniach (1–7 lipca 2006 r.), w okresie bezdeszczowym. Ostatni opad na badanym terenie przed okresem badań zanotowano 29 czerwca. Pomiary były wykonywane co kilka metrów biegu potoku, a na niektórych odcinkach nawet co metr. Podczas powtarzanych codziennie serii pomiarów poziom wód w potoku systematycznie opadał. W końcu okresu badań występował już niski stan wód.

Rycina 3.2.1 przedstawia szczegółowy szkic rejonu badań wraz ze strefą przecięcia koryta Jaskińca z prawdopodobną wychodnią marmurów. Zaznaczono tu przeciętną konduktywność wód źródeł oraz potoku, w poszczególnych jego odcinkach. Uzyskiwane w kolejnych punktach pomiarowych, i w kolejnych dniach, wyniki praktycznie nie różniły się. Rozstęp poszczególnych wartości (różnica między wartością maksymalną i minimalną), użytych do obliczenia „podwójnych średnich" pokazanych na szkicu, wynosił maksymalnie 2–3 $\mu S \cdot cm^{-1}$, a często oscylował w zakresie 1 $\mu S \cdot cm^{-1}$, czyli praktycznie w granicach błędu pomiaru.

Na rycinie 3.2.1 podano też średnią konduktywność wód trzech źródeł z „wodami wodorowęglanowymi"; tutaj także nie stwierdzono wyraźnego trendu zmian w czasie. Przeciętne wartości zostały obliczone dla źródeł 11a i 11b na podstawie 5 pomiarów w różnych dniach (rozstęp odpowiednio 4 oraz 5 $\mu S \cdot cm^{-1}$) oraz dla źródła 22 – z 4 pomiarów (rozstęp 8 $\mu S \cdot cm^{-1}$). Problemem technicznym było natomiast wykonanie pomiaru na obszarze podmokłości w dnie doliny, gdzie dopływają do cieku wody źródeł 11a oraz 11b, i gdzie, być może, ma miejsce obszarowy wypływ wód z marmurów.

Wyniki wykonanych pomiarów są dość intrygujące. Pokazały one bardzo dużą stabilność przewodnictwa wód na poszczególnych odcinkach cieku przez kilka kolejnych dni. Mineralizacja wody z biegiem Jaskińca stopniowo rośnie, jednak wzrost ten nie ma charakteru ciągłego i jest jednoznacznie związany z dopływem wód źródlanych o wyższej mineralizacji (ryc. 3.2.2). Jest to dobrze widoczne w przypadku źródła 22 i nieco mniej wyraźne na odcinku, gdzie znajduje się podmokłość. Najważniejsza obserwacja dotyczy jednak górnego odcinka cieku, o długości 1 km (powyżej źródła 11a), na którym mineralizacja nie zmienia się. Świadczy to o braku dopływu „wód wodorowęglanowych", mimo przecięcia strefy wychodni marmurów przez potok (ryc. 3.2.1, 3.2.2).

Na podstawie otrzymanych wyników można sądzić, że: albo woda w cieku nie ma kontaktu hydraulicznego z wodami w marmurach albo też ciek nie drenuje zbiornika w marmurach, lecz go zasila. Poziom wody w jeziorkach Jaskini Radochowskiej znajduje się ok. 11 m powyżej rzędnej cieku (rzędną wody w jeziorkach przyjęto według Walczaka 1956; za Rzonca i in. 2004). Źródło 11b także znajduje się co najmniej kilka metrów powyżej cieku. Nie wydaje się więc prawdopodobne aby ciek mógł zasilać wody w marmurach, gdyż różnica wysokości wymusza raczej ruch wody w kierunku cieku. Nie można natomiast wykluczyć, że wspomniana podmokłość występuje na dnie doliny właśnie na wychodni marmurów (inaczej niż to zaznaczono na ryc. 3.2.1), i jest zasilana od spodu powierzchniowo wysączającą się wodą „wodorowęglanową". Hipotezy tej nie udało się jednak potwierdzić bezpośrednimi pomiarami. Także próby identyfikacji skał w korycie nie dały rezultatu, gdyż nie udało się znaleźć żadnej wychodni skalnej. Podmokłość ta jest najprawdopodobniej związana z rozlewaniem się wód źródeł 11a i 11b na płaskim dnie doliny. Charakter tego miejsca nie ulegał zmianom w okresie badań (wiosna 2003 – lato 2006 r.). Ważnym wnioskiem jest jednak bezsprzeczne stwierdzenie, że wody z marmurów („wody wodorowęglanowe") nie zasilają cieku powyżej połączenia Jaskińca z odpływem ze źródła 11a (ryc. 3.2.1 – oznaczone strzałką).

Badania ilościowe drenażu wód „wodorowęglanowych"

Dzięki identyfikacji dróg drenażu „wód wodorowęglanowych" możliwe było podjęcie próby określenia ich udziału w odpływie całkowitym Jaskińca. Dokładność bezpośredniego pomiaru wydajności źródła, czy przepływu cieku, jest w znacznym stopniu uzależniona od warunków terenowych. W przypadku wypływów „wód wodorowęglanowych" trudności terenowe przemawiały za zastosowaniem pomiaru różnicowego. Decydujące w tym przypadku było przypuszczenie, że wody te mogą zasilać ciek dodatkowo, poprzez nieskoncentrowany wypływ na obszarze podmokłości, sąsiadującej z korytem potoku. Pomiar bezpośredni wydajności takiego wypływu jest praktycznie niemożliwy.

W celu określenia wielkości drenażu „wód wodorowęglanowych" dokonano szeregu pomiarów przepływu cieku powyżej i poniżej strefy zasilania. Posłużono się kilkoma metodami stosowanymi w ciągu kilku dni, przy średnim i niskim stanie wód. Spośród uzyskanych rezultatów, za najbardziej wiarygodne zostały uznane wyniki pomiarów metodą mieszania fali roztworu (Pociask-Karteczka 2003), wykonanych w dniu 4 lipca 2006 r.

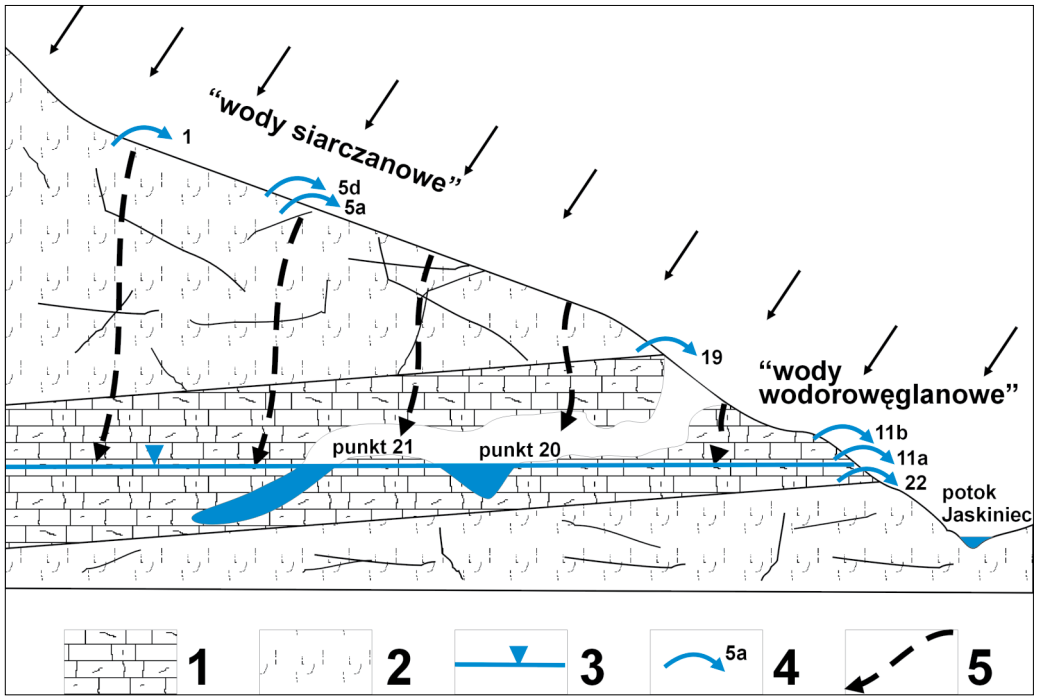
Pomiary wykonane powyżej strefy zasilania „wodami wodorowęglanowymi" dały w wyniku przeciętny przepływ Q_1=3,77 $dm^3 \cdot s^{-1}$ (wyniki poszczególnych eksperymentów: 3,59 i 3,95 $dm^3 \cdot s^{-1}$; podano średnie arytmetyczne). Pomiary wykonane poniżej strefy wychodni marmurów pozwoliły określić średni przepływ na Q_3=7,92 $dm^3 \cdot s^{-1}$ (wyniki cząstkowe: 7,73 i 8,11 $dm^3 \cdot s^{-1}$). Łatwo stąd obliczyć wielkość dopływu wód wodorowęglanowych równą Q_2=4,15 $dm^3 \cdot s^{-1}$, czyli 52,4% całkowitego przepływu cieku.

Z przeprowadzonych pomiarów wynika, że zasilanie „wodami wodorowęglanowymi" odgrywa istotną rolę w kształtowaniu przepływu i składu chemicznego wód Jaskińca. Bardzo niewielka strefa ich wypływów na powierzchnię, ograniczona do występowania źródeł 11a, 11b, 22 oraz obszar podmokłości, dostarczają ponad połowę przepływu cieku.

Podsumowanie i wstępna dyskusja nad modelem krążenia wód

Przedstawione wyniki badań, wraz z konkluzjami z poprzednich prac (Rzonca i in. 2004, 2005), krótko przytoczonymi we wstępie, prowadzą do stopniowego zrozumienia mechanizmu krążenia wód podziemnych na badanym obszarze i formowania ich składu chemicznego. Zasadniczą rolę odgrywa tu niewielka, skrasowiała wkładka skał węglanowych (marmurów) otoczona metamorficznymi skałami niewęglanowymi. Załączony schemat (ryc. 3.2.3), przedstawia główne elementy modelu koncepcyjnego cyrkulacji wód w otoczeniu tego zbiornika: drogi jego zasilania i drenażu. Zasilanie, jak to wykazano w poprzednich pracach, odbywa się głównie drogą średnio głębokiego krążenia z wyżej leżących skał niewęglanowych. Ucieczka wód z potoku jest niewykluczona, ale w ocenie autorów, bardzo mało prawdopodobna, gdyż zwierciadło wód w zbiorniku znajduje się powyżej wód cieku. Drenaż tego zbiornika odbywa się głównie źródłami. Wykluczono natomiast możliwość dopływu dokorytowego do Jaskińca powyżej odpływu ze źródła 11a. Może on jednak odgrywać pewną rolę na obszarze podmokłości.

Wody wypływające z soczewki marmurów, mające cechy „wód wodorowęglanowych" stanowiły w okresie badań aż 52,4% przepływu Jaskińca. Marmury tworzą więc nie tylko zbiornik wód, ale przede wszystkim strefę drenażu wyżej leżących skał niewęglanowych, przypuszczalnie na znacznym obszarze. To, z ko-



Ryc. 3.2.3. Schematyczny model krążenia wód w otoczeniu Jaskini Radochowskiej. Objaśnienia: 1 – skrasowiały marmur tworzący lokalny poziom wodonośny, 2 – niewęglanowe skały metamorficzne, 3 – zwierciadło wód podziemnych w marmurach, 4 – źródło, 5 – prawdopodobny sposób zasilania zbiornika w marmurach przez nieliczne głębokie szczeliny.

Fig. 3.2.3. The schematic model of water circulation within the Radochowska cave surroundings. Explanations: 1 – karstified marble being the local aquifer, 2 – non-carbonate metamorphic rocks, 3 –water–table within the marble aquifer, 4 – spring, 5 – the most probable way of the marble reservoir recharge with deep, sparse fissures.

lei, jest pośrednim dowodem dominującej roli głębszego krążenia wód w masywie i niewielkiego znaczenia wód w pokrywach zwietrzelinowych. Taki układ, z dominacją stref głębszego krążenia wód, został przedstawiony i udokumentowany w poprzednich pracach na podstawie różnic składu chemicznego wód.

O występowaniu jednolitego zwierciadła wód w soczewce (ryc. 3.2.3) świadczą stwierdzone wahania ich poziomu w Jaskini Radochowskiej (amplituda powyżej 1 m) oraz skorelowane z nimi wysychanie źródeł podczas pogłębiania się niżówek (Rzonca i in. 2005). Warto wskazać, iż najwcześniej wysycha źródło 19, położone prawdopodobnie przy górnej granicy intersekcyjnej marmurów, a następnie, położone niżej, źródło 11b. Źródła 11a i 22 położone są bardzo nisko i nigdy nie wyschły w okresie badań obejmującym dwie bardzo głębokie i długotrwałe niżówki letnio-jesienne: w 2003 i 2005 roku. Niestety, stopniowe

włączanie źródeł podczas podnoszenia się poziomu wód w soczewce nie może być potwierdzone obserwacjami, bowiem podczas opadów źródła uruchamiają się jednocześnie, zasilane spływem powierzchniowym i śródpokrywowym.

Summary

The model of groundwater circulation in the catchment of compound geology in the Sudety Mts.

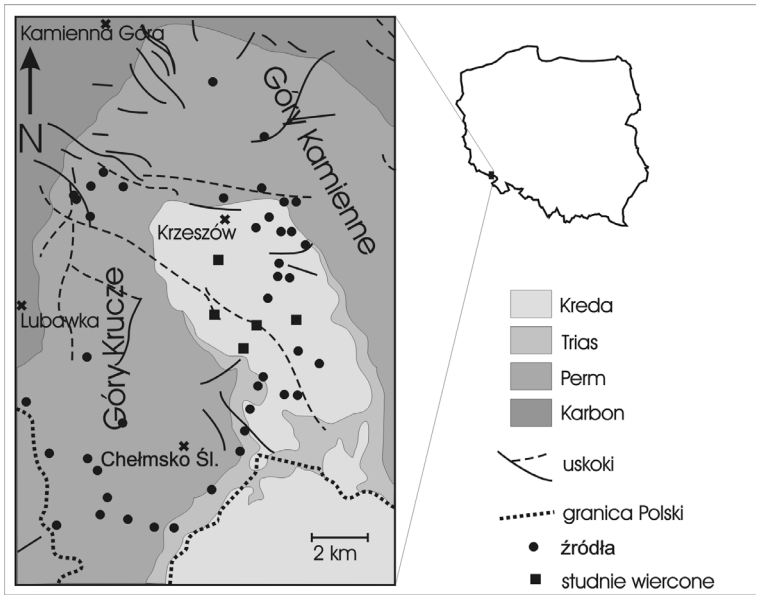
This study is a continuation of the previous research (Rzonca *et al.*, 2004, 2005) on finding groundwater circulation pattern within the crystalline, metamorphic massif being a complex of carbonate and non-carbonate rocks. The hydrogeological role of the small marble lens was recognized and discussed (fig. 3.2.1 and 3.2.2). The karstified marble layer is a local groundwater reservoir of waters being drained from the overlying non-carbonate rocks by some springs, not by the stream. It was proved with detailed water conductivity analyses (fig. 3.2.1); the role and origin of little wetlands below the springs 11a and 11b is still discussed. After that when the marble reservoir draining ways were discovered, it was possible to evaluate the impact of the reservoir on the total stream recharge. As it was proved, the impact is over 50%, which is strikingly much considering limited size of the marble layer and its outcrop. Obtained results enable to establish the provisional water circulation model (fig. 3.2.3) which was presented and discussed.

Marcin Stępień
Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Uniwersytet Wrocławski
02-089 Warszawa, al. Żwirki i Wigury 93, stempel@uw.edu.pl

3.3. Znaczenie badań chemizmu wód niecki krzeszowskiej i jej obrzeżenia (Sudety Środkowe) dla rozpoznania lokalnego systemu krążenia wód podziemnych

Lokalizacja terenu badań

Niecka krzeszowska jest niewielką strukturą zajmującą wraz z górskim obrzeżeniem powierzchnię około 120 km^2. Jest ona położona na wschód od Lubawki, na południe od Kamiennej Góry i około 20 km na południowy zachód od Wałbrzycha (ryc. 3.3.1). Na południu granica niecki pokrywa się, w przybliżeniu, z przebiegiem granicy państwowej z Czechami, gdzie kontaktuje się z niecką policką. Tworzy ona obniżenie śródgórskie otoczone od wschodu Górami Kamiennymi, a od zachodu Górami Kruczymi.



Ryc. 3.3.1. Położenie i szkic geologiczny terenu badań
Fig. 3.3.1. Position and geological sketch of the studied area

Zarys warunków geologicznych i hydrogeologicznych

Niecka krzeszowska jest ograniczona zasięgiem budujących ją utworów górnej kredy i triasu. Zbudowana jest głównie ze skał osadowych (piaskowców, mułowców, iłowców i margli). Obrzeżenie niecki budują skały permskie. Najczęściej są to utwory wulkaniczne (ryolity i trachybazalty), a lokalnie osadowe i wulkanoklastyczne (zlepieńce, fanglomeraty i brekcje). Cały teren jest dość mocno pocięty uskokami (ryc. 3.3.1). Zarówno niecka, jak i jej obrzeżenie należą do większej, transgranicznej jednostki Sudetów – niecki śródsudeckiej. Najważniejszymi minerałami, wchodzącymi w skład skał niecki i obrzeżenia są: kwarc, plagioklazy, skalenie alkaliczne i dolomit. Wśród minerałów akcesorycznych dominują: cyrkon, rutyl, turmalin, hematyt i apatyt. Cement skał składa się głównie z minerałów ilastych (kaolinit, miki, hydromiki), tlenków i wodorotlenków żelaza oraz kalcytu (Awdankiewicz 1997; Don i in. 1980).

Niecka krzeszowska jest kilkupoziomowym, artezyjskim zbiornikiem wód podziemnych w utworach kredy i triasu. Wodonośne są strefy występowania piaskowców, a barierami dla wód podziemnych – utwory drobnoklastyczne. Istnieje łączność między poszczególnymi poziomami wodonośnymi. Tworzy się w efekcie wspólne kredowo-triasowe piętro wodonośne, a lokalnie, z uwagi na kontakt z leżącym niżej piętrem permskim, powstaje kredowo-triasowo-permski kompleks wodonośny, w którym piętro najniższe (P) ma jednak najmniejsze znaczenie. Zasilanie zbiornika odbywa się na wychodniach skał niecki, a także poprzez permskie piętro wodonośne. W strefach uskoków, istnieje komunikacja między poziomami wodonośnymi oraz transport wód podziemnych z głębszych stref ku powierzchni terenu. Powstają wtedy źródła ascensyjne. Niekiedy jednak, strefy uskokowe powodują izolację poziomów wodonośnych i utrudniają przepływ wody między nimi. Niecka krzeszowska, na terytorium Czech, przechodzi w nieckę policką.

Z obszaru niecki dobywa się duże ilości wód podziemnych poprzez głębokie studnie wiercone. Są one przesyłane poza obszar bilansowy w celu zaopatrzenia Wałbrzycha w wodę pitną (Dąbrowski, Szafranek 1983). Z uwagi na występowanie dużych ilości wód podziemnych o wysokiej jakości, niecka krzeszowska jest uznana za tzw. Główny Zbiornik Wód Podziemnych nr 343 (GZWP) oraz za obszar ich najwyższej ochrony (ONO; Kleczkowski 1990). W skali regionalnej, cała niecka śródsudecka (w tym niecka krzeszowska) została poddana badaniom modelowym w celu rozpoznania krążenia i zasobów wód podziemnych (Milicky i in. 2001).

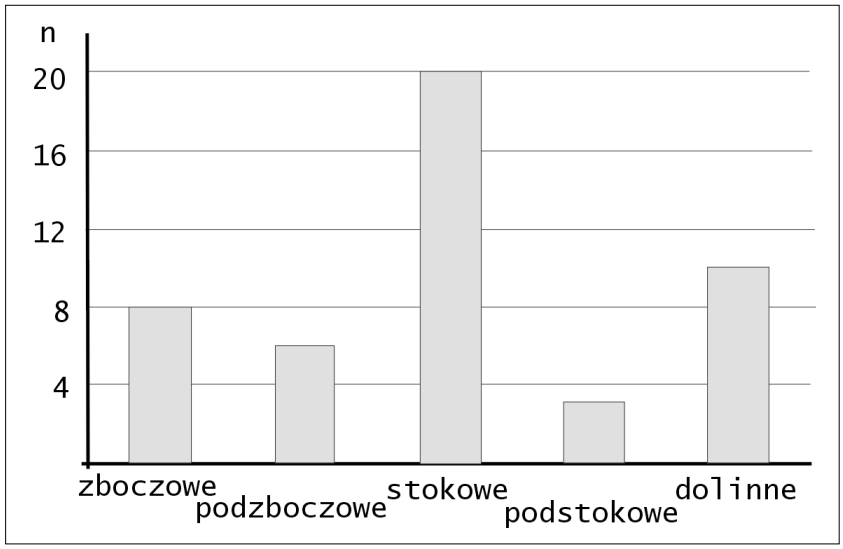
Charakterystyka krenologiczna obszaru

Szczegółowe kartowanie krenologiczne oraz inne badania hydrogeologiczne niecki krzeszowskiej wykonano w latach 2002–2004. Wśród nich, największe

znaczenie miały badania chemizmu wód podziemnych. Rozpoznano go dzięki badaniu źródeł i studni wierconych (Stępień 2004). Za źródło uważano „samoczynny, naturalny, skoncentrowany wypływ wody podziemnej na powierzchnię terenu lub w dnie zbiornika wodnego" (Bocheńska i in. 2002). Wyodrębniono również młaki, które w odróżnieniu od źródeł, miały charakter wypływów nieskoncentrowanych (obszarowych).

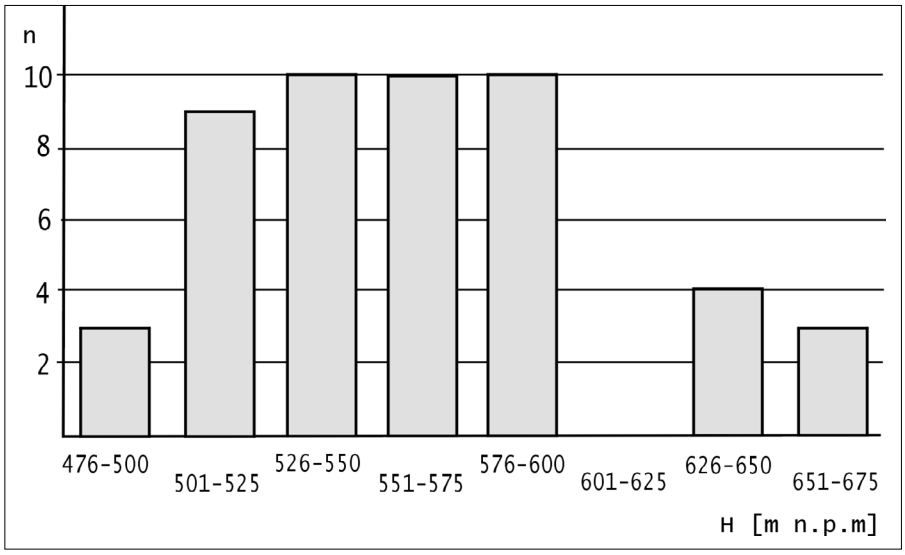
W wyniku kartowania zidentyfikowano 47 wypływów wód podziemnych, z czego 42 stanowiły źródła (ryc. 3.3.1). Większość z nich (24) bije ze skał permskich, 17 z kredowych, a tylko 6 z utworów triasowych. Ze względu na litologię, najwięcej źródeł wypływa z kredowych piaskowców kwarcowych, glaukonitowych i z mułowców (13). Nieco mniej wypływów bije z permskich fanglomeratów, zlepieńców i piaskowców (11). Natomiast w obrębie ryolitów napotkano 10 wypływów (Stępień 2004).

Ze względu na geomorfologię terenu wyróżniono pięć typów źródeł: zboczowe (związane z terenami najbardziej nachylonymi), stokowe (tereny średnio nachylone), dolinne (tereny niemal płaskie) oraz źródła usytuowane w załamaniach terenu: podzboczowe i podstokowe. Najliczniej (43%) występowały źródła stokowe (ryc. 3.3.2) (Stępień 2004).



Ryc. 3.3.2. Liczba źródeł w poszczególnych typach morfologicznych
Fig. 3.3.2. Number of springs according to topographic position

Zdecydowana większość wypływów znajdowała się na wysokości z przedziału: 500–600 m n.p.m. Najniżej położone jest źródło w Betlejem k. Krzeszowa – 488 m n.p.m. Najwyżej znajduje się wypływ położony na zachodnich stokach góry Róg – 668 m n.p.m. (ryc. 3.3.3).



Ryc. 3.3.3. Liczba źródeł w przedziałach wysokości
Fig. 3.3.3. Number of springs according to altitude position

Ze względu na charakter hydrogeologiczny, na badanym obszarze, najczęściej spotykane są źródła descensyjne: porowo-szczelinowe i szczelinowo-porowe. Drenują one przypowierzchniowe partie skał wraz z ich zwietrzeliną. Szczelinowy charakter wypływu jest spowodowany naturalnym spękaniem masywu skalnego wynikającym z predyspozycji skał (piaskowce). Wypływy szczelinowe skupiają się też w strefie rozluźnień tektonicznych występujących głównie w skałach wulkanicznych (Stępień 2004).

Miejscem wypływu jest najczęściej niewielkich rozmiarów zagłębienie w podłożu (zwykle do 0,5 m głębokości i średnicy do 1 m). Niekiedy jednak pojawiają się bardzo dobrze wykształcone, duże misy źródłowe o głębokości nawet do 1,5 m i średnicy ponad 2 m. Część wypływów, zwłaszcza tych położonych wyżej, jest umiejscowiona na silnie nachylonych zboczach lub stokach (brak zagłębienia) lub w mocno wciętych wąwozach (Stępień 2004).

Wydajność źródeł jest bardzo zróżnicowana przestrzennie i zmienna w czasie. Najczęściej mieści się ona w przedziale 0,1–1 $dm^3 \cdot s^{-1}$, typowym dla VI klasy wydajności według Meinzera (Pazdro 1983). Źródła o wydajności większej są lub były ujmowane. Najbardziej znanymi przykładami są: źródło w Betlejem o niezmiennej (od kilkudziesięciu lat) wydajności: 17–22 $dm^3 \cdot s^{-1}$ i Źródło Jodłowe w Błażejowie, gdzie wydajność obszaru źródliskowego oceniana jest na około 50 $dm^3 \cdot s^{-1}$ (IV klasa wydajności). Wydajnością powyżej 1 $dm^3 \cdot s^{-1}$ (V klasa wydajności) charakteryzuje się także kilka innych wypływów. Znakomita większość zinwentaryzowanych wypływów ma charakter stały.

Okresowość funkcjonowania wypływów związana jest zwykle z czasowym brakiem zasilania przy jednoczesnym pełnym zdrenowaniu odwadnianego górotworu. Stan taki pojawia się w okresach susz lub podczas mroźnych zim (zamarzanie wody w miejscu wypływu – „retencja mrozowa" i zamarznięcie wód zwietrzelinowych). Periodyczność źródeł objawia się w dwojaki sposób. Wypływy mogą całkowicie zanikać. Zjawisko to jest charakterystyczne dla mało wydajnych i bardzo zmiennych źródeł, drenujących zbiorniki o niewielkim rozprzestrzenieniu. Mogą też wędrować wzdłuż stoku. Taka wędrówka miejsca wypływu jest charakterystyczna dla obszarów o dużym nachyleniu lub źródeł położonych w głęboko wciętych wąwozach. Wskutek obniżania zwierciadła wód podziemnych, miejsce wypływu „wędruje" w dół doliny, przesuwając się niekiedy o dziesiątki metrów, by w czasie alimentacji wrócić na poprzednie miejsce lub przesunąć się, w okresach szczególnie mokrych, jeszcze wyżej. Podobne zjawisko występuje w przypadku mało wydajnych źródeł, podczas mroźnych zim. Miejsca wypływu zamarzają wówczas zupełnie. Woda pojawia się znacznie niżej, przy czym pojawiające się „zapasowe" miejsce wypływu wiąże się zwykle z drenażem wód głębszych i nieco cieplejszych (Stępień 2004).

Chemizm wód podziemnych ze źródeł i studni wierconych

Równolegle z kartowaniem hydrogeologicznym prowadzone były pomiary fizykochemiczne wód podziemnych we wszystkich punktach dokumentacyjnych. Badana była temperatura wody, jej odczyn, przewodność elektrolityczna właściwa, rzadziej potencjał redoks i stężenie tlenu. Z wytypowanych punktów pomiarowych (głównie źródeł i studni wierconych) pobierane były też próbki wód podziemnych do badań laboratoryjnych w celu oceny ich składu chemicznego. Kryteriami wyboru punktów do tych badań były: a) w miarę równomierne rozmieszczenie na badanym terenie, b) reprezentatywność dla danego ośrodka geologicznego (wydzielenia litologicznego), c) charakter i reżim hydrogeologiczny (dla źródeł), d) dostępność archiwalnych analiz chemicznych. Analizy chemiczne prób wody wykonywane były bezpośrednio po ich dostarczeniu do laboratorium. Za każdym razem wykonywano analizę chemiczną obejmującą główne jony oraz azotany i zawartość substancji rozpuszczonych. Pozostałe składniki oznaczano w węższym zakresie (tab. 3.3.1).

Metodyka oznaczeń była zróżnicowana i obejmowała różne grupy metod: od klasycznych wolumetrycznych, poprzez spektrofotometryczne, aż do spektrometrycznych (Stępień 2004).

Tabela 3.3.1

Wykaz oznaczeń laboratoryjnych składu chemicznego wód podziemnych.
List of laboratory determinations of groundwater chemical composition.

Okres	Liczba próbek	Subst. rozp.	JG	NO_3	SiO_2	Al	Fe	Mn	F	PO_4	Ba, Cr, Cu, Sr, Ti, Zn
IX 2002	22	22	22	22							
III 2003	24	24	24	24		24	24	24	24	24	24
VII 2003	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	
II 2004	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	
VI 2004	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	
razem	98	98	98	98	72	96	96	96	96	96	24

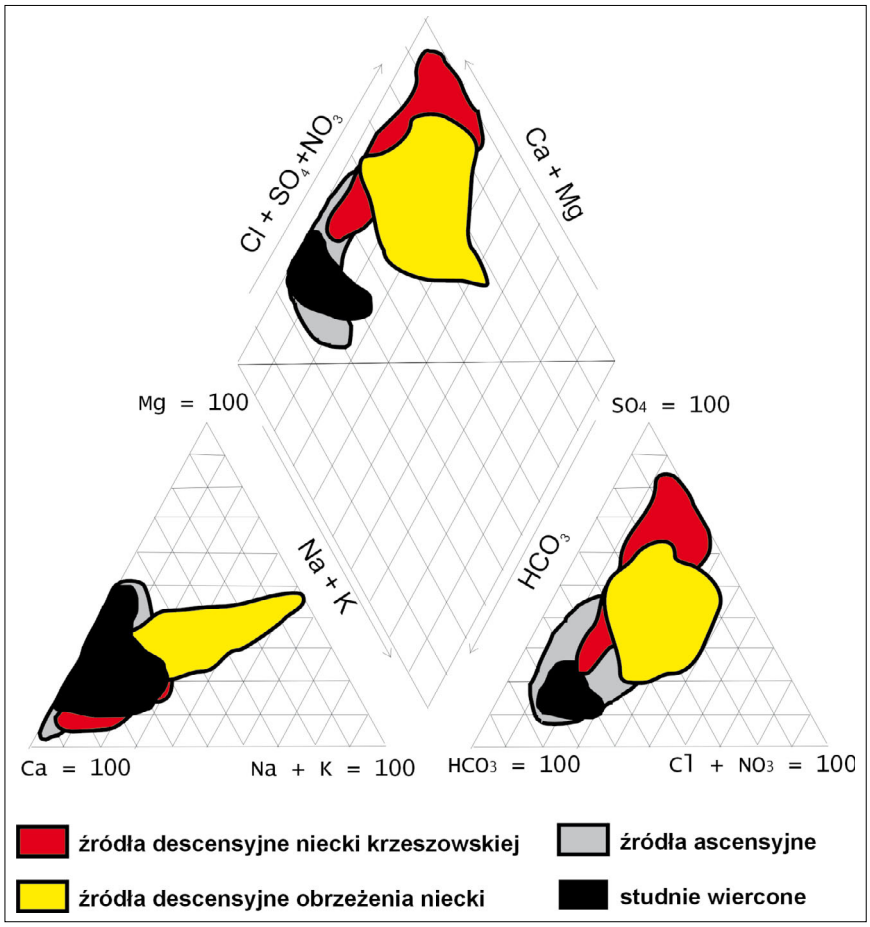
JG – jony główne (Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, HCO_3^-, SO_4^{2-})
JG – main ions (Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, HCO_3^-, SO_4^{2-})

Na terenie niecki krzeszowskiej i jej górskiego obrzeżenia rozpoznano wody ultrasłodkie i słodkie o sumie składników rozpuszczonych od 30 do 290 $mg \cdot dm^{-3}$ (w źródłach) i słodkie o sumie składników rozpuszczonych w zakresie 100 do 400 $mg \cdot dm^{-3}$ w studniach wierconych. Szczegółowa charakterystyka chemizmu wód podziemnych przedstawiona została we wcześniejszej pracy (Stępień 2004). Dla uczytelnienia i skrócenia opisu chemizmu wód podziemnych wydzielono następujące grupy źródeł: 1) wody źródeł descensyjnych z obszaru niecki krzeszowskiej, 2) wody źródeł descensyjnych z obrzeżenia niecki, 3) wody źródeł ascensyjnych z całego terenu badań oraz: 4) wody podziemne z głębokich studni wierconych (ryc. 3.3.4). Najprościej różnice w chemizmie wód poszczególnych populacji przedstawić można określając typ hydrochemiczny wody według Szczukariewa (Bocheńska i in. 2002) (tab. 3.3.2).

Tabela 3.3.2

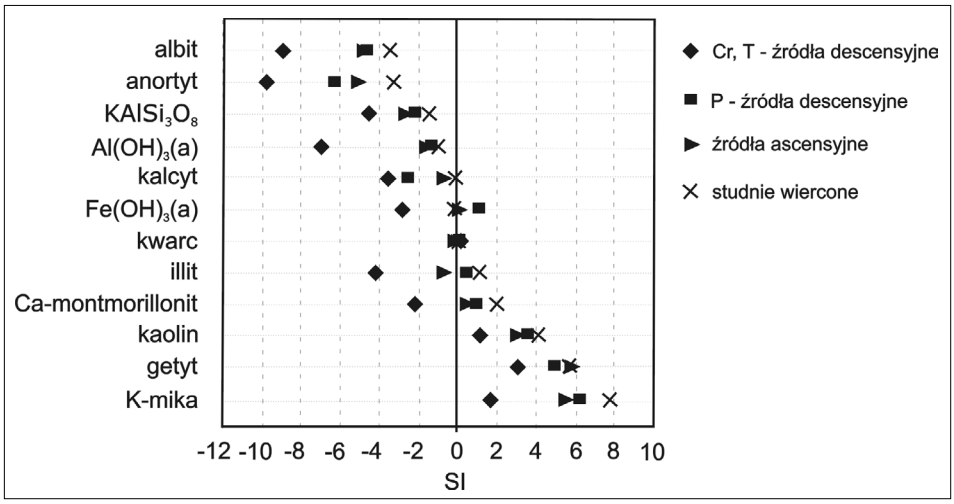
Typ hydrochemiczny i mineralizacja wody w zależności od charakteru krążenia wód podziemnych.
Hydrochemical type and mineralization of groundwater depending on character of groundwater circulation

Grupa	Średnia zawartość subst. mineralnych rozpuszczonych [$mg \cdot dm^{-3}$]	Średni typ hydrochemiczny wg Szczukariewa
Źródła descensyjne niecki krzeszowskiej	114,4	$SO_4 HCO_3 -$ CaMg
Źródła descensyjne obrzeżenia niecki krzeszowskiej	86,3	$SO_4 HCO_3 -$ CaMg
Źródła ascensyjne	201,7	$HCO_3 SO_4 -$ CaMg
Wody ujmowane studniami wierconymi	231,8	$HCO_3 -$ CaMg



Ryc. 3.3.4. Chemizm wód podziemnych w zależności od warunków ich występowania
Fig. 3.3.4. Groundwater chemistry depending on groundwater occuring

Do opisu warunków hydrogeochemicznych zastosowano także modelowanie hydrogeochemiczne (Parkhurst, Appelo 1999), określające między innymi stan równowagi pomiędzy fazami mineralnymi a roztworem wodnym. Wartości SI (*saturation index*) mniejsze od zera wskazują na niedosycenie wód podziemnych względem danych minerałów (warunki korzystne do ich rozpuszczania). Wartości powyżej zera odwrotnie: przesycenie roztworu wodnego względem faz mineralnych (warunki sprzyjające wytrącaniu z roztworu). Wartości SI zbliżone do zera (-0,5 do 0,5) opisują względny stan równowagi chemicznej pomiędzy roztworem wodnym a wodonoścem. Modelowanie przeprowadzone osobno dla wydzielonych grup wykazało, iż średnie wartości SI są najmniejsze w przypadku źródeł descensyjnych z niecki krzeszowskiej i jej obrzeżenia a największe w przypadku wód podziemnych ujmowanych studniami wierconymi (ryc. 3.3.5) (Stępień 2004, 2006).



Ryc. 3.3.5. Wartości wskaźnika SI w zależności od środowiska występowania wód podziemnych
Fig. 3.3.5. Saturation index (SI) values depending on groundwater occuring

Związki chemizmu i sposobu krążenia wód podziemnych

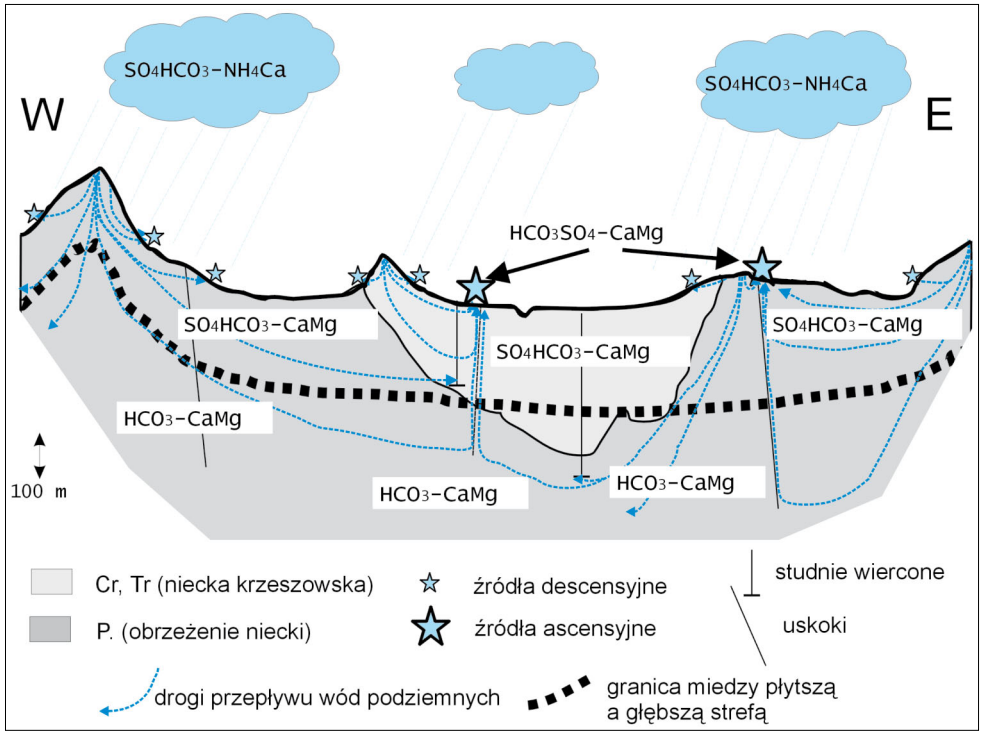
Opisany podział wód podziemnych ukazuje pionową strefowość hydrogeochemiczną. Jest ona wywołana strefowością hydrodynamiczną. Wydzielić tu można strefę stosunkowo płytkiego krążenia reprezentowaną przez wody podziemne ze źródeł descensyjnych. Czas ich przebywania w górotworze jest stosunkowo krótki. W efekcie mają one najmniejszą mineralizację. Najmniejsze ilości substancji rozpuszczonych są charakterystyczne dla źródeł z obrzeżenia niecki krzeszowskiej a więc z najbardziej zróżnicowanej morfologicznie części badanego terenu – Góry Krucze i Kamienne (tab. 3.3.2). Duże spadki stoków i stosunkowo duża zwartość masywu dodatkowo skracają czas przebywania wód w wodonoścu.

Głębsza strefa krążenia reprezentowana jest bezpośrednio przez wody podziemne ujmowane studniami wierconymi z głębokości nawet poniżej 300 m. By wody opadowe zasilające zawodnione struktury dotarły na taką głębokość, ich droga, a co ważniejsze, także czas przebywania pod ziemią (czyli kontakt z wodonoścem) musiały być stosunkowo długie. W efekcie, ich mineralizacja jest największa. Odmienny jest także ich typ hydrochemiczny. Wydaje się także, że głębszą strefę krążenia reprezentują również wody źródeł ascensyjnych. Są to prawdopodobnie te same wody, które ujmowane są studniami wierconymi, ale w różnych proporcjach (w zależności od intensywności zasilania) zmieszane z wodami płytszymi (charakterystycznymi dla źródeł descensyjnych). Proces takiego mieszania zachodzi zapewne podczas ich ascensyjnego wynoszenia ku powierzchni terenu. Tłumaczy to ich przeciętną (pośrednią pomiędzy źródłami descensyjnymi a studniami wierconymi) mineralizację i typ hydrochemiczny.

We wcześniejszym opracowaniu wykazano, że pochodzenie anionu SO_4 w wodach podziemnych związane jest z procesami biogeochemicznymi oraz może być wynikiem wpływu wód opadowych, których charakterystyczny dla opisywanego obszaru, średni typ hydrochemiczny z lat 1999–2003 ma postać: SO_4 HCO_3 − NH_4 Ca przy zawartości rozpuszczonych substancji mineralnych <20 mg·dm^{-3}. Zatem przewaga jonu SO_4^{2-} nad jonem HCO_3^- jest cechą charakterystyczną płytkiego przepływu wód podziemnych (Stępień 2004, 2006).

Potwierdzają to także wyniki modelowania hydrogeochemicznego (ryc. 3.3.5). Niemal w przypadku każdej z faz mineralnych, największe wartości SI są charakterystyczne dla wód podziemnych dobywanych ze studni wierconych, przeciętne dla źródeł ascensyjnych, a najmniejsze dla źródeł descensyjnych.

Informacje osiągnięte dzięki badaniom chemizmu wód podziemnych (w tym różnego typu wypływów) pozwalają przedstawić prosty schemat pionowej strefowości hydrogeochemicznej. Po uzupełnieniu go o trajektorie przepływu wód podziemnych, można go również odczytać jako model zmian chemizmu wód podziemnych na drodze krążenia w badanym górotworze (ryc. 3.3.6).



Ryc. 3.3.6. Schemat zmian chemizmu wód podziemnych na drodze ich przepływu
Fig. 3.3.6. Scheme of chemistry changes of groundwaters on their filtration way

Wnioski

Badania źródeł, w tym szczególnie badania składu chemicznego wód podziemnych zmierzają do rozpoznania krążenia wód podziemnych. Wyniki badań chemizmu źródeł mogą stanowić ważną informację o pochodzeniu wód wypływających na powierzchnię terenu. Mając do dyspozycji także dane o chemizmie wód z głębi górotworu (pozyskiwane np. dzięki głębokim studniom wierconym) można podjąć próbę konstrukcji prostego modelu krążenia wód podziemnych dla danego terenu. W przypadku, gdy model taki wykonany został np. w oparciu o badania hydrodynamiczne, analizy składu chemicznego wód źródlanych mogą stanowić podstawę do dodatkowej weryfikacji modelu.

Summary

Significance of the spring water chemistry researches carried on in the Krzeszów trough area (Middle Sudety Mts.) on recognition of the local system of groundwater circulation

Hydrogeological and hydrogeochemical researches in the Krzeszów trough and its border area were carried on in the years 2002–2004. It allowed to recognize hydrogeochemical processes forming a groundwater chemistry in the studied area. Analyzed groundwaters were sampled from springs and drilled wells. During fieldworks the following physico-chemical properties were taken into account: temperature, pH, conductivity, redox potential and O_2 concentrations. Water samples was taken from selected points. Analyses allowed to observe a relationship between chemical composition of underground waters and geological structure. Two hydrodynamical zones were discovered in the Krzeszów trough area: shallow one and deep one. This division also corresponds the hydrochemical zones. Chemical composition of groundwaters observed in springs in drilled wells depends on bedrocks, time length of contact with aquifer rocks and mixing underground waters from two hydrochemical zones in random proportions.

A spring researches, especially connected with chemical composition of water are the essential component of works making easier to recognize the groundwater circulation. Results of such researches may be important input in gathering information about origin of groundwaters outflow onto the ground surface. Knowledge of water chemistry from deeper parts could be usuful in a simple model presentation of groundwater circulation (eg. deep drilled wells). If the model exists and it was prepared basing on eg. hydrodynamic and spring chemical composition researches it could be a base of additional model verification.

Damian Absalon
Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej Obszarów Urbanizowanych, Uniwersytet Śląski
41-200 Sosnowiec, ul. Będzińska 60, dabsalon@wnoz.us.edu.pl

3.4. Charakterystyka hydrologiczna i termika wybranych źródeł w zlewni Białki Lelowskiej

Wstęp

Źródła w zlewni Białki Lelowskiej, z uwagi na swoje wartości poznawcze, były już obiektem badań w latach 70. (Dynowska 1979, 1983). Badania te zostały powtórzone przez Chełmickiego z zespołem w 1999 roku (Chełmicki 2001).

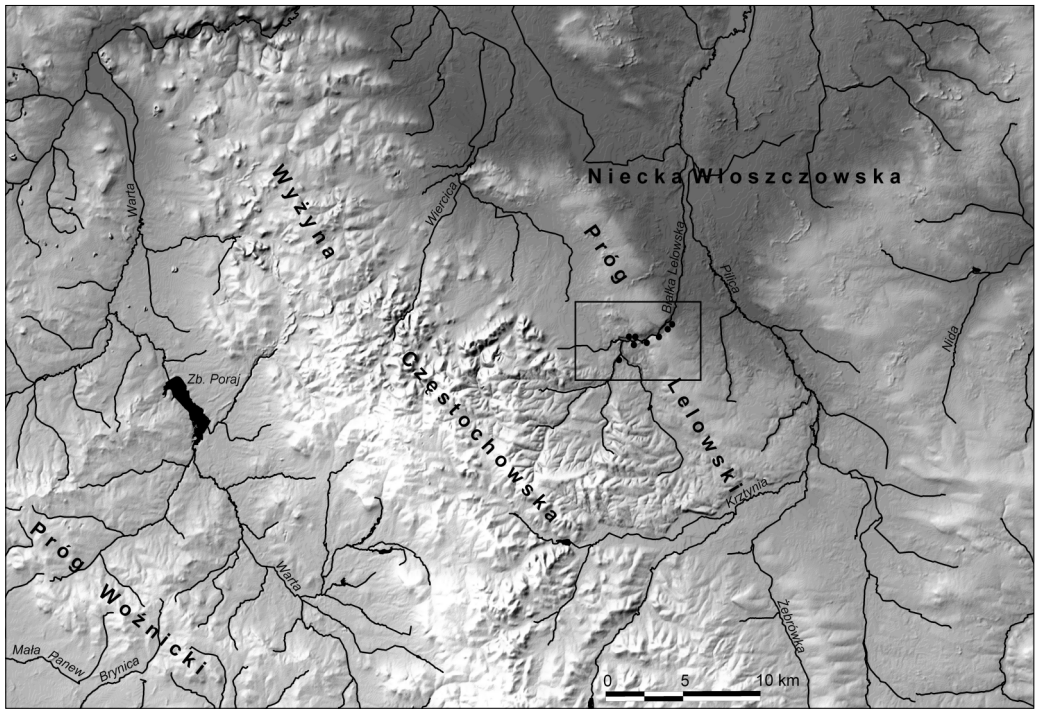
W świetle podziału Polski na jednostki fizyczno-geograficzne (Kondracki 1994) zlewnia Białki Lelowskiej leży prawie w całości w obrębie Progu Lelowskiego (342.13), który jest częścią Wyżyny Małopolskiej (ryc. 3.4.1). Białka Lelowska jest lewobrzeżnym dopływem Pilicy. Długość rzeki wynosi około 19 km, zaś powierzchnia dorzecza – 154 km^2.

W zlewni istnieje wyraźna przewaga zasilania podziemnego (50–70%) nad powierzchniowym, co powoduje, że przepływy Białki Lelowskiej w ciągu roku są stosunkowo wyrównane. Najwyższe przepływy występują na wiosnę wraz z topnieniem pokrywy śnieżnej. Wezbrania wiosenne rozpoczynają się w marcu lub w kwietniu. Najniższe przepływy obserwowane są natomiast we wrześniu.

Celem opracowania jest ocena wydatku wybranych źródeł zlewni Białki Lelowskiej, identyfikacja ich reżimu, a także analiza sezonowych zmian termiki wypływającej wody. Do badań wytypowano osiem źródeł o największych wydajnościach i wysokich walorach przyrodniczych, które poddano obserwacjom w 2005 roku. W pięciu z nich, raz w miesiącu, mierzono wydajność młynkiem hydrometrycznym. W dwóch pozostałych, do oceny wydajności wykorzystano dane archiwalne. W celu poznania termiki wód źródlanych w okresie obserwacyjnym dokonano 6-krotnych pomiarów temperatury wody we wszystkich źródłach.

Warunki geologiczne i geomorfologiczne

Centralna i wschodnia część Kotliny Lelowskiej powstała w strefie wychodni piasków albu, które zalegają na wapieniach jury (Różycki 1937). W obrębie Kotliny występują również luźne piaski cenomanu. Na obszarze Lelowa



Ryc. 3.4.1. Lokalizacja obszaru badań na tle numerycznego modelu terenu.
Fig. 3.4.1. Position of the studied area against a digital elevation model.

są to margliste piaski glaukonitowe z fosforytami, które w kierunku północnym przechodzą w margle i iły (Kaziuk, Lewandowski 1980). Kuesta górnokredowa, obrzeżająca od południowego wschodu Kotlinę Lelowską, rozwinęła się na ostrej granicy litologicznej dzielącej luźne piaski albu i cenomanu od parometrowej warstwy wapieni turonu (Różycki 1960). Od południa wysoczyznę kredową obcina uskok, który dość znacznie przesuwa linię wychodni kredy.

Ukształtowanie powierzchni starszego podłoża wpłynęło na zróżnicowanie osadów czwartorzędowych w Kotlinie Lelowskiej. Miało ono również poważny wpływ na uformowanie się zasięgu zlodowacenia wisły. Utwory czwartorzędowe na Progu Lelowskim to, związane ze skałami macierzystymi, pokrywy zwietrzelinowe oraz piaski i lessy. Dna dolin oraz subsekwentne obniżenie Białki Lelowskiej wyścielone są zwartą pokrywą utworów plejstoceńskich. Osady czwartorzędowe mogą osiągać znaczną miąższość dochodzącą do 30−40 m (Nowak 1970).

Zaangażowanie tektoniczne obszaru lelowskiego nie jest zbyt skomplikowane. Wszystkie warstwy ułożone są monoklinalnie i zapadają łagodnie ku północnemu wschodowi pod kątem 5−6°. Pomiędzy Lelowem a Zbyczycami, a także w okolicach Zalesic, warstwy sfałdowane są w kilka synklin i antyklin o niewiel-

kich amplitudach (Różycki 1937). Oprócz tego istnieje tu szereg uskoków, które przesunęły w stosunku do siebie wychodnie kredy (Nowak 1965). Główne kierunki spękań utrzymują kierunek północny wschód – południowy zachód oraz prostopadły do niego (Różycki 1937).

Warunki hydrograficzne i hydrogeologiczne

Obecny układ sieci rzecznej jest wynikiem zmian, które dokonały się tu od kredy górnej do czasów współczesnych. Pierwotnie, obszar przecinał subsekwentny potok płynący u podnóża kuesty kredowej na północny zachód, do doliny dzisiejszej Wiercicy. Taki układ sieci funkcjonował już w pliocenie i przetrwał starszy czwartorzęd. Ze względu na dużą przepuszczalność podłoża, sieć hydrograficzną tworzyły strumienie okresowe, które nie formowały stałej rzeki.

Sytuacja uległa zmianie podczas starszego interglacjału, kiedy w zachodniej części erozja usunęła osady zlodowacenia odry i poprzez piaski albu dotarła, na głębokości kilku metrów, do obfitego poziomu wodonośnego, powodując powstanie wielu źródeł (Nowak 1970). Pojawiła się wówczas rzeka stała, płynąca od Lelowa w kierunku północno-zachodnim do Sierakowa i Julianki.

Ponowne zmiany miały związek ze zlodowaceniem wisły. Wał morenowy zatarasował odpływ z Kotliny Lelowskiej w kierunku północno-zachodnim. Przed czołem lądolodu utworzyło się zastoisko, a jego wody przelewały się do doliny Białki, płynącej ku Pilicy i zasilanej źródłami koło Białej Wielkiej. W tym czasie, Białka przełamała grzędę kredową i w wyniku erozji wstecznej przedostała się na jej zachodni stok. Dzięki bliżej położonej i niższej bazie erozyjnej niż Wiercica, rzeka przecięła się przez wcześniej wytworzony przełom koło Białej Wielkiej i przejęła wody ze źródeł koło Lelowa. Przeciągnęła także wody z potoków płynących od Irządz i Ślęzan, stopniowo doprowadzając do układu sieci rzecznej, który przetrwał do dzisiaj.

Dzisiejsza dolina w miejscu przełomu przez Próg Lelowski jest wąska (ok. 300 m) i głęboka (do 30 m). W dnie przełomu wznosi się ponad koryto terasa zalewowa o wysokości 0,5–1,0 m. Terasa wysoka (5–6 m) powyżej przełomu zachowała się bardzo dobrze, w dnie przełomu tylko fragmentarycznie. Ponad nią, po obu stronach przełomu wznosi się wysokie na 4–6 m zbocze, zbudowane z utworów kredowych (Nowak 1965).

Sieć odwodnienia powierzchniowego, na skutek niedawnych zmian hydrograficznych, jest jeszcze w zlewni słabo zorganizowana. W okresie wiosennych roztopów oraz po obfitych opadach, na obszar ten spływa, okresowo odwadnianymi dolinami, ogromna ilość wód z Wyżyny Częstochowskiej. Wody te rozlewają się szeroko, a nie znajdując odpływu – długo stagnują, wsiąkając w podłoże

i zasilając wody podziemne. W obrębie zlewni występują również liczne zagłębienia bezodpływowe o genezie krasowej.

W zlewni występują trzy piętra wodonośne: czwartorzędowe, kredowe i jurajskie. Piętro czwartorzędowe tworzą piaszczyste i żwirowe warstwy wodonośne. W dolinach rzecznych i obniżeniach, zwierciadło wody podziemnej występuje na ogół dość płytko (0–1 m p.p.t.) Na pozostałym obszarze, gdzie miąższość utworów piaszczysto-żwirowych jest zróżnicowana, zwierciadło wody podziemnej kształtuje się na zmiennym poziomie, jednak nie głębiej niż 2,0 m p.p.t. Potencjalna wydajność studni ujmujących ten poziom wynosi od kilku do kilkunastu $m^3 \cdot h^{-1}$.

Piętro kredowe występuje w północno-wschodniej części zlewni. Poziom wodonośny związany jest z utworami kredy górnej (margle, wapienie, opoki – mastrychtu, kampanu i santonu). Jest to poziom szczelinowy występujący na głębokości do 200 m. Uzyskiwane wydajności studni sięgają kilkudziesięciu $m^3 \cdot h^{-1}$.

Piętro jurajskie występujące w północno-zachodniej części zlewni, tworzą szczelinowate, spękane wapienie i margle. Są to wody podziemne szczelinowo-krasowe. Główny poziom użytkowy występuje na głębokości od kilku do 100 m p.p.t. Przeciętne wydajności otworów wahają się od kilku do 120 $m^3 \cdot h^{-1}$ – w dolinie Białki. Zasilanie poziomu odbywa się drogą infiltracji wód atmosferycznych poprzez warstwy czwartorzędowe i kredowe lub bezpośrednio w strefie wychodni utworów górnojurajskich.

Możliwy jest przepływ wody między różnowiekowymi skałami, np. w strefie kontaktu utworów jurajskich i kredowych. Dzięki łatwej infiltracji zwierciadło w obrębie wierzchowin występuje bardzo głęboko i nawiązuje do den dolinnych. Tam gdzie rozcięcie jest na tyle głębokie, że sięga do poziomu wód podziemnych, są one drenowane przez źródła w dolinach. Woda wypływa wówczas szczelinami, najczęściej pod zboczami dolin, w postaci źródeł szczelinowo-krasowych (Dynowska 1983).

Dużą rolę w kontaktowaniu się wód odgrywają również uskoki. Dzięki dyslokacjom tektonicznym może istnieć ruch wód podziemnych na dużych przestrzeniach, niezależnie od topograficznych działów wodnych i lokalnej rzeźby terenu (Kleczkowski 1972).

Zwierciadło wód podziemnych piętra jurajskiego jest zwykle swobodne. W miarę oddalania się od kuesty pojawia się niekiedy naporowe zwierciadło wody podziemnej (wody artezyjskie i subartezyjskie). Ciśnienie pojawia się wskutek izolującego wpływu osadów dolinnych oraz małego współczynnika filtracji utworów kredowych, który hamuje odpływ podziemny w kierunku północno-wschodnim i „piętrzy" wody podziemne.

Warunki klimatyczne

Zgodnie z podziałem Polski na dzielnice rolniczo-klimatyczne, przeprowadzonym przez Gumińskiego, zlewnia Białki Lelowskiej leży w obrębie dzielnicy częstochowsko-kieleckiej. Średnia roczna temperatura powietrza wynosi tu 7,5–8,0°C, a czas zalegania pokrywy śnieżnej − od 60 do 70 dni. Średnioroczna suma opadów wynosi od 600 do 700 mm i jest zależna od ukształtowania i pokrycia terenu. Najwyższe sumy opadów notowane są w lipcu (80 mm), a najniższe w lutym (30 mm). Maksymalne sumy dobowe opadów mogą dochodzić do 100 mm. Średnia liczba dni z opadem waha się od 150 do 160 (Absalon, Jankowski, Leśniok 2000).

Źródła „Pulsujące"

Źródła, których nazwę zaproponowała Dynowska (1983), położone są w dolinie Białki Lelowskiej powyżej Lelowa. Ta unikalna linia źródeł występuje w dnie meandrującego koryta rzeki na długości około 400 m. W kilku miejscach, tworzą się rozległe, owalne lub koliste, pojedyncze lub mnogie misy (od jednego do kilku metrów średnicy). Ich części centralne wyściela jasny, drobnoziarnisty piasek, który od czasu do czasu, bijąca z dna woda podnosi i wyrzuca w górę. Gdy pulsowanie jest silne sprawia to wrażenie wrzenia wody (fot. 3.4.1). Wypływy te są klasycznym przykładem źródeł podpływowych (ascensyjnych). Warstwą wodonośną są wapienie kredowe rauraku (jura–malm) przykryte piaskami albu.

Ze względu na charakter wypływu bardzo trudno dokonywać w nim systematycznych pomiarów wydajności. Z tego powodu nie wykonywano comiesięcznych pomiarów. Wskutek utrudnień, również pomiary temperatury wody były dokonywane inaczej niż w pozostałych przypadkach (poprzez zaczerpnięcie wody z mis o największych rozmiarach).

Źródło „Szczelina"

Nieopisane dotąd w literaturze źródło położone jest w Lelowie, na prawym brzegu Białki Lelowskiej, w dolnej części stromego zbocza doliny (fot. 3.4.2). Źródło nie tworzy typowej niszy źródlanej. Jedynie wokół szczeliny zaznacza się niewielkie wcięcie. Dno doliny jest mocno zawodnione. Woda wypływająca ze szczeliny daje wyraźny odpływ, który już po kilku metrach przyjmuje wody z licznych młak. Wnętrze szczeliny jest rozgałęzione na dwa ramiona, główne ma długość kilkunastu metrów i skręca po kilku metrach od wejścia w kierunku wschodnim, a po kolejnych kilku metrach, kieruje się pod kątem prostym na północ. Warstwą wodonośną są kwarcytowe piaskowce dolnokredowe albu II. Źródło ma charakter spływowy (descensyjny). Otoczenie źródła jest naturalne, jednak powyżej, zbocze doliny jest sukcesywnie zaśmiecane.

Pomiary wydajności były dokonywane tuż poniżej wypływu ze szczeliny; natomiast pomiary temperatury – wewnątrz szczeliny, w pobliżu jej wylotu.

Źródło „Zimnąca" („Zimiąca")

Źródło descensyjne „Zimnąca" znajduje się w dużej niszy, wciętej w terasę wyższą na prawym brzegu Białki Lelowskiej. Woda wypływa z dwóch szczelin, ulokowanych w dwóch niewielkich niszach, z których odpływy po kilku metrach łączą się w jeden strumień. Po przepłynięciu około 150 m wpada on do Białki Lelowskiej. Po obu stronach koryta potoku występują liczne, ale niewielkie i w większości ascensyjne źródła. Warstwą wodonośną są margle twarde, opoki i wapienie kampanu (kreda–senon); w pobliżu przebiega uskok. Otoczenie źródła ma charakter naturalny i porasta je bujna roślinność. Wypływ jest sporadycznie wykorzystywany przez ludność.

Pomiary wydajności były prowadzone bezpośrednio poniżej miejsca połączenia się obu strug źródlanych, natomiast pomiary temperatury wody w wydajniejszym wypływie.

Źródła w Białej Wielkiej

Źródła znajdują się w Białej Wielkiej, na prawym brzegu Białki Lelowskiej. Woda wypływa kilkoma prawie poziomymi szczelinami; w dnie koryta odpływu widać wyraźne pulsowanie wody. Tworzy ona strugę wolno płynącą po płaskiej terasie Białki. Warstwą wodonośną są tutaj margle twarde, opoki i wapienie kampanu (kreda–senon) na kontakcie z piaskami albu; w pobliżu przebiega uskok. Źródło ma charakter spływowo-podpływowy (descensyjno-ascensyjny). Otoczenie źródła jest zaśmiecane.

Pomiary wydajności były dokonywane w miejscu ukształtowania się wyraźnego odpływu, natomiast pomiary temperatury w bezpośredniej bliskości największej ze szczelin.

Źródła „Rozlewisko" – wypływ i zbiornik

Źródła wypływają w strefie uskoku. Woda wydobywa się na odcinku około 100 m ze skalnej szczeliny. Wzdłuż niej, równoległe do zbocza, powstaje rozlewisko o szerokości około 30 m. W jego dnie widoczne są miejsca wydobywania się wody. Rozlewisko porasta roślinność wodna, której zwarte płaty podpiętrzają wodę. Wody odprowadzane są stąd potokiem, szerokim na 2–3 m, którego koryto jest wyżłobione w terasie Białki Lelowskiej. Warstwą wodonośną są margle twarde, opoki i wapienie kampanu (kreda–senon) w strefie uskoku. Jest to źródło o charakterze spływowo-podpływowym (descensyjno-ascensyjnym). Na zboczu, gdzie znajduje się główna szczelina wyprowadzająca wody źródła, stwierdzono sukcesywne zaśmiecanie.

Podobnie, jak w źródłach „Pulsujących" nie wykonywano tu comiesięcznych pomiarów wydajności. Natomiast pomiary temperatury wody były prowadzone zarówno w miejscu wypływu usytuowanym powyżej rozlewiska, jak i w samym rozlewisku.

Źródło „Zbyczyce I"

Źródło znajduje się w Zbyczycach, na lewym brzegu Białki Lelowskiej. Woda wypływa szczelinami, tworząc początkowo drobne cieki, które po kilku metrach łączą się w jedną dużą strugę, o korycie wyraźnie wciętym w terasę. Po kilkudziesięciu metrach wpada ona do Białki. Warstwą wodonośną są margle twarde, opoki i wapienie kampanu (kreda–senon) na kontakcie z piaskami albu; w pobliżu przebiega uskok. Wypływ ma charakter spływowo-podpływowy (descensyjno-ascensyjny). Nisza źródlana jest dobrze wykształcona. Jest jednak intensywnie przekształcona, gdyż służy jako wysypisko odpadów dla gospodarstw znajdujących się powyżej. W okresie wezbrań źródło nie jest dostępne.

Pomiarów wydajności i temperatury dokonywano w bezpośredniej bliskości miejsca wypływu. Ze względu na zalanie niszy nie dokonano pomiaru w marcu.

Źródło „Zbyczyce II"

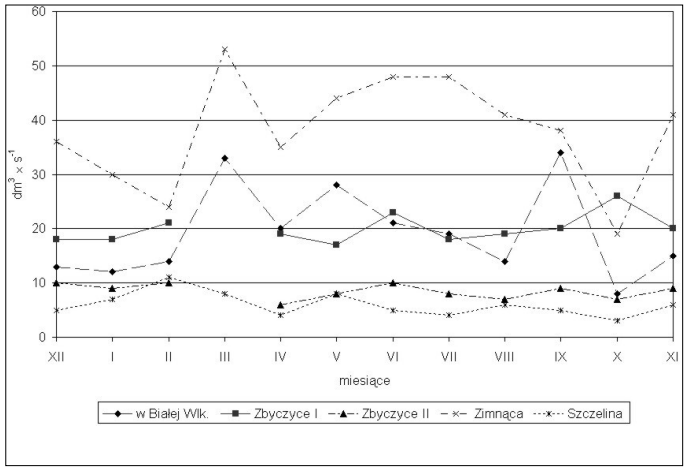
Źródło znajduje się w Zbyczycach, na lewym brzegu Białki Lelowskiej i w niewielkiej odległości od źródła „Zbyczyce I". Oba wypływy w Zbyczycach analizowano odrębnie, choć przez Dynowską (1983) traktowane były jako jeden. Jak się okazało w trakcie badań, oba te źródła różnią się pod względem termicznym. Dobrze wykształcona nisza źródlana jest zasypywana odpadami z położonych powyżej gospodarstw. W sąsiedztwie znajdują się również niewielkie, ocembrowane studnie, ujmujące pojedyncze wypływy. Z jednej z nich (najwydajniejszej), woda doprowadzana jest rurą PCV do stawu znajdującego się obok. W okresie wezbrań źródło nie jest dostępne. Warstwą wodonośną są margle twarde, opoki i wapienie kampanu (kreda–senon) na kontakcie z piaskami albu; w pobliżu przebiega uskok. Źródło ma charakter spływowo-podpływowy (descensyjno-ascensyjny).

Pomiary wydajności wykonywano w miejscu wypływu z niszy, przy czym nie obejmowały one wody dostarczanej do stawu. Ze względu na zalanie niszy nie dokonano pomiaru w marcu. Temperatura wody była mierzona w miejscu wypływu.

Wydajność źródeł

Opierając się na comiesięcznych wynikach pomiarów, stwierdzono, że najwydajniejszym źródłem jest „Zimnąca". Jego średnia roczna wydajność wynosi 38 $dm^3 \cdot s^{-1}$. Najniższe wydatki obserwowano w okresie zimowym, zaś maksimum

zanotowano w marcu (53 $dm^3 \cdot s^{-1}$). Źródło to charakteryzuje się także wysokimi wydajnościami w okresie letnim. Utrzymywały się one również na poziomie 41–48 $dm^3 \cdot s^{-1}$ (ryc. 3.4.2).



Ryc. 3.4.2. Dynamika wydajności źródeł w 2005 roku
Fig. 3.4.2. Variability of spring yields in the year 2005

Najmniej wydajnym z badanych wypływów jest „Szczelina". Średnio w roku wypływa z niego 6 $dm^3 \cdot s^{-1}$. Źródło to charakteryzuje się wysoką wydajnością w okresie zimowo-wiosennym. Średnia wydajność z pomiarów wykonywanych zimą wyniosła 7,7 $dm^3 \cdot s^{-1}$, zaś wiosną – 6,7 $dm^3 \cdot s^{-1}$. Maksimum (11 $dm^3 \cdot s^{-1}$) zanotowano w lutym.

W pozostałych źródłach, maksymalna wydajność przypada na okres wiosenny, kiedy ich wodonośce zasilane są intensywnie przez topniejącą pokrywę śnieżną. Warto dostrzec, że źródła spływowo-podpływowe (descensyjno-ascensyjne), charakteryzują się na ogół większą zmiennością wydatku. O podwyższonej zmienności decydują tu głównie wody, napływające grawitacyjnie. Wydajność szczelin wyprowadzających wody pod ciśnieniem jest prawdopodobnie stała.

Do oceny zmienności badanych źródeł zastosowano klasyfikację Maillet'a opartą o współczynnik R. Według Tomaszewskiego (1996) klasyfikacje tę można stosować także w przypadku krótszych okresów pomiarowych, np. roku hydrologicznego. Według niej do stałych można zaliczyć źródła w Zbyczycach (I i II), a do mało zmiennych – źródła: w Białej Wielkiej, „Zimnąca" oraz „Szczelinę" (tab. 3.4.1).

Według klasyfikacji Meinzera (1923), badane źródła można zaliczyć do klas: IV – wypływy w Białej Wielkiej, „Zbyczyce I", „Zimnąca" i V – „Zbyczyce II", „Szczelina" (tab. 3.4.1).

Tabela 3.4.1

Wydajność badanych źródeł.
Yield of the researched springs

Źródło	Wydajność [$dm^3 \cdot s^{-1}$]					Wskaźnik zmienności wydatku wg Mailleta		Klasa wydajności wg Meinzera
	1973/74	1999	2005					
	Q	Q	$O_{śr}$	Q_{max}	Q_{min}	R	kategoria	
„Szczelina”	-	-	6	11	3	3,7	mało zmienne	V
„Zimnąca”	50	40	38	53	19	2,8	mało zmienne	IV
w Białej Wlk.	25	-	19	34	8	4,3	mało zmienne	IV
„Zbyczyce I”	15	15	20	26	17	1,5	stałe	IV
„Zbyczyce II”			8	10	6	1,7	stałe	V
„Pulsujące”	-	-	116*	-	-	-	-	III
„Rozlewisko”	100	-	91*	-	-	-	-	IV

Objaśnienia:
1973/74 – wg badań przeprowadzonych w latach 1973/74 przez Dynowską (1983),
1999 – wg badań przeprowadzonych w 1999 roku przez Chełmickiego (2001),
* jednorazowe pomiary przeprowadzone w marcu 2000 roku (niepublikowane materiały Zakładu Hydrologii i Gospodarki Wodnej Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego).
Explanations:
1973/74 – according to the research carried on in the years 1973/74 by Dynowska (1983),
1999 – according to the research carried on in 1999 by Chełmicki (2001),
* single measurements carried on in March 2000 (non-published materials of the Water Management and Hydrology Department of the Śląsk University)

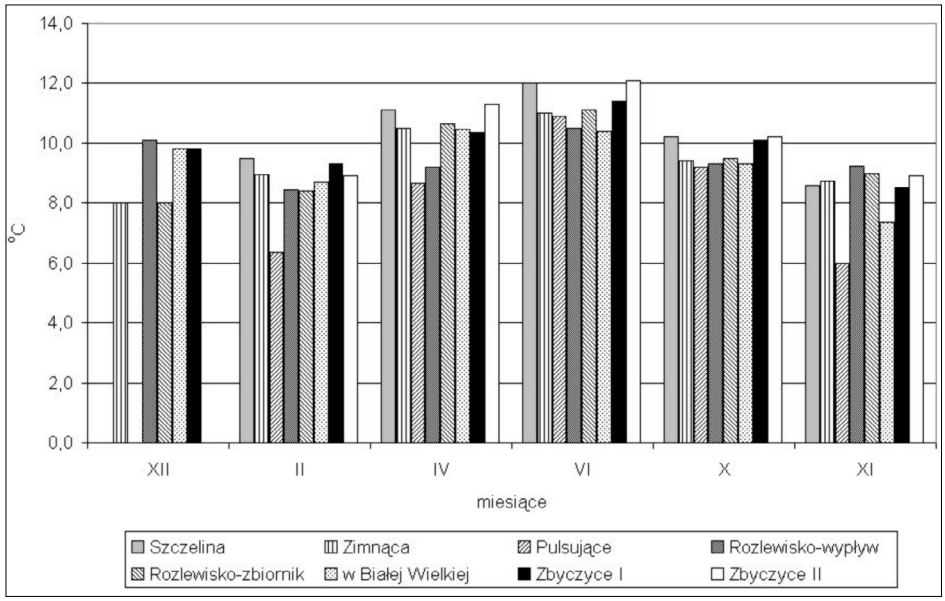
Opierając się na wynikach jednorazowych pomiarów z marca 2000 roku, do najbardziej wydajnych wypływów w zlewni Białki Lelowskiej zaliczyć należy źródła: „Pulsujące” (116 $dm^3 \cdot s^{-1}$ – jedyne w III klasie wydajności Meinzera) oraz źródło „Rozlewisko” (91 $dm^3 \cdot s^{-1}$). Comiesięczne obserwacje polegające na ocenie liczby wypływów i wielkości mis powstających w wyniku ascensji wody potwierdzają, że źródła te przez cały rok charakteryzują się bardzo stabilną wydajnością.

Temperatura wody

Spośród właściwości fizycznych wody podziemnej największym zmianom podlega temperatura. Największe wahania, o amplitudzie kilku stopni, zachodzą w źródłach warstwowych zasilanych wodami krążącymi w strefie wpływów zmian temperatury powietrza oraz w źródłach szczelinowych i krasowych. Nieznaczne wahania temperatury dowodzą, że warstwa wodonośna leży stosunkowo głęboko i w takich warunkach, że temperatura wody całkowicie dostosowuje się do warunków środowiska geologicznego (Pazdro, Kozerski 1990).

Przebieg zmian temperatury w wodach wszystkich badanych źródeł jest podobny w ciągu roku (ryc. 3.4.3). Najniższe wartości, notowane są w okresie zimo-

wym i wczesnowiosennym, a najwyższe – w okresie letnim. Najwyższą średnią roczną temperaturą (10,3°C) charakteryzują się wody źródeł: „Szczelina" i „Zbyczyce II". Najniższa przeciętna dotyczy zaś źródeł „Pulsujących" – 8,2°C. W tym ostatnim przypadku pewną rolę mogą odgrywać błędy związane z opisywanymi wcześniej trudnościami technicznymi pomiaru. Temperatury wody w pozostałych źródłach są zbliżone i wahają się w przedziale od 9,3°C (źródła w Białej Wielkiej) do 9,9°C („Zbyczyce II"). Roczna amplituda temperatury kształtuje się na poziomie od 2,0°C w „Rozlewisku" do prawie 5°C w źródłach „Pulsujących". Przeciętnie amplituda temperatury wynosi do 3°C (tab. 3.4.2).



Ryc. 3.4.3. Temperatura wody badanych źródeł
Fig. 3.4.3. Water temperature of the researched springs

Uwagi końcowe i wnioski

Najbardziej wydajnym zespołem wypływów w zlewni Białki Lelowskiej są źródła „Pulsujące". Ich wydajność wynosi ok. 100–120 $dm^3 \cdot s^{-1}$. Obserwacje wskazują także, iż wypływy te mają jednocześnie bardzo małą zmienność wydatku.

Spośród źródeł mierzonych systematycznie w 2005 roku, najbardziej wydajne jest źródło „Zimnąca" – 38 $dm^3 \cdot s^{-1}$. Najmniejszy wydatek ma źródło „Szczelina" – 6 $dm^3 \cdot s^{-1}$. Źródło to, mniejszą wydajność rekompensuje niezwykłą urodą i niespotykanym na tym obszarze sposobem wypływu wody. W sezonowym przebiegu wydatku większości źródeł można dostrzec efekty skomplikowanego systemu ich zasilania (mieszanie się wód różnych poziomów wodonośnych) oraz skutki obecności strefy uskokowej. Wyjaśnienie tych za-

gadnień wymaga dalszych, bardziej szczegółowych badań hydrologicznych i hydrogeologicznych.

Tabela 3.4.2

Temperatura wody badanych źródeł [°C]
Water temperature of the researched springs [°C]

Źródło	Średnia roczna temperatura	Temperatura maksymalna	Temperatura minimalna	Amplituda
„Pulsujące”	8,2	10,9	6,0	4,9
„Szczelina”	10,3	12,0	8,6	3,4
„Zimnąca”	9,4	11,0	8,0	3,0
w Białej Wielkiej	9,3	10,5	7,4	3,1
„Rozlewisko”-wypływ	9,5	10,5	8,5	2,0
„Rozlewisko”-zbiornik	9,4	11,1	8,0	3,1
„Zbyczyce I”	9,9	11,4	8,5	2,9
„Zbyczyce II”	10,3	12,1	8,9	3,2

Bardziej „klarowne” są sezonowe zmiany temperatury wód badanych źródeł, z minimami w okresie zimowym i wczesnowiosennym oraz letnimi maksimami, jakkolwiek dostrzec można pewne anomalie: np. dużą różnicę temperatury wody w sąsiadujących ze sobą źródłach w Zbyczycach.

Ze względu na unikatowe walory poznawcze, krajobrazowe i naukowe należałoby powtórnie rozważyć, postulowaną już wcześniej przez Drzał i Dynowską (1981), czynną ochronę opisywanych źródeł. W świetle ostatnich badań najbardziej celowe wydaje się powołanie zespołu przyrodniczo-krajobrazowego „Źródła Lelowskie” dla ochrony najcenniejszego fragmentu doliny Białki Lelowskiej (Absalon, Matysik 2005).

Summary

Hydrological profile and thermal conditions of selected springs in the Białka Lelowska catchment

In the light of the division of Poland into geographical units (Kondracki 1994) the Białka Lelowska catchment lies almost entirely on the Lelowski Sill (342.13), which is a part of the Małopolska Upland.

The aim of the present study is the assessment of yield and the analysis of its seasonal regime as well as the analysis of changes in thermal conditions of selected springs.

The research included eight springs with the highest yield. In five of them yields were measured once a month. In order to obtain data about thermal conditions water temperature in all springs and air temperature in their vicinity were measured in the studied period.

The yields of the analysed springs are visibly differentiated. According to previous documented data the “Pulsujące” springs have the highest yield (116 $dm^3 \cdot s^{-1}$) – the present research

did not include yield measurements of these springs. Nowadays the spring with the highest yield is „Zimnąca", which average annual yield reaches 38 $dm^3 \cdot s^{-1}$. The spring with the lowest yield is „Szczelina" – 6 $dm^3 \cdot s^{-1}$. In the seasonal pattern of yields it is difficult to find any regularities – this may be the result of a compound system of spring recharging – mixing up waters from different aquifers and the presence of a fault zone.

The patterns of water temperatures of the analysed springs show significant similarities in year. Annual temperature amplitudes are between 2.0°C in "Rozlewisko" and almost 5°C in the "Pulsujące" springs. Usually yearly amplitudes are about 3°C.

The analysed springs not only have interesting visual and natural properties but they also have the useful value – they are important from the point of view of durability of water resources.

Joanna Fac-Beneda
Ewa Hryniszak
Katedra Hydrologii, Uniwersytet Gdański
80-264 Gdańsk ul. Dmowskiego 16a, geojfb@univ.gda.pl, remrem@o2.pl

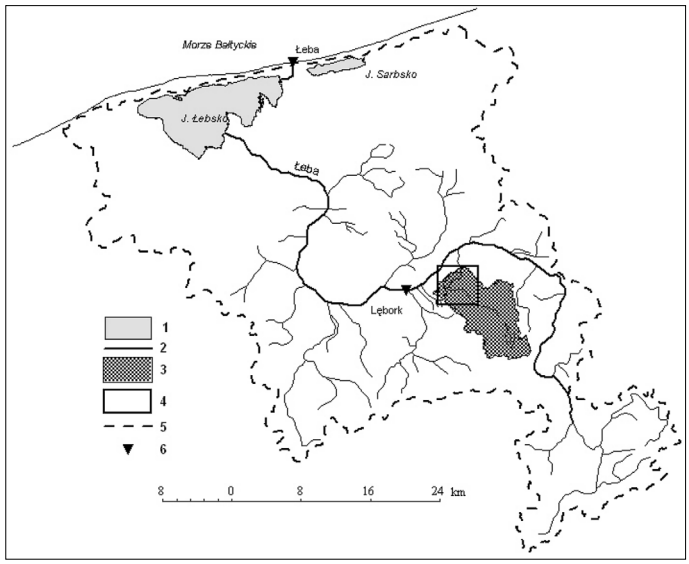
3.5. Wypływy wód podziemnych u podnóży krawędzi pradolinnych

Wprowadzenie

W zróżnicowanym środowisku geograficznym występują różne, pod względem cech i funkcji, obiekty hydrograficzne. Można tu wyróżnić, przede wszystkim, obiekty alimentujące i drenujące. Dna dolin, rynien i pradolin zalicza się do form drenujących przy czym, charakterystycznymi dla nich obiektami hydrograficznymi są naturalne wypływy wód podziemnych. W pradolinach, wskutek drenażu horyzontów wód podziemnych dalekiego krążenia, formowany jest odpływ podstawowy, zapewniający ciągłość zasilania cieków, które je drenują. W wyniku badań na obszarach plejstoceńskiej akumulacji lodowcowej oraz doświadczeń zebranych w trakcie realizacji nowej edycji Mapy Hydrograficznej Polski w skali 1:50 000 (Wytyczne... 2005) stwierdzono, że wypływy wód podziemnych są na tyle istotnymi obiektami hydrograficznymi pradolin, iż należy podjąć się ich badań. Motywem podjęcia tych badań była również próba znalezienia odpowiedzi na pytanie, jaką rolę w zasilaniu wypływów wód podziemnych pełnią obszary bezodpływowe położone w górnych partiach zlewni?

Obszar badań

Do badań wybrano fragment Pradoliny Redy-Łeby w okolicach Lęborka należący do dorzecza Łeby (ryc. 3.5.1). W dnie pradoliny, u podnóża krawędzi wysoczyzny, położone są dwa jeziora: Jezioro Lubowidzkie i Jezioro Lubowidzkie Małe, o powierzchniach zwierciadła wody wynoszących odpowiednio: 1565 tys. m^2 i 34500 m^2. Wysokość dna pradoliny wynosi około 20 m n.p.m. Geneza jezior związana jest z wytapianiem się brył martwego lodu w obrębie pradoliny. Jezioro Lubowidzkie Małe jest prawdopodobnie dawną, południową zatoką Jeziora Lubowidzkiego (Gołębiewski, Woźniak 2003). Wysoczyzna, którą rozcina i drenuje rynna jeziorna, wznosi się tutaj do 120 m n.p.m. Na południu, w górnej



Ryc. 3.5.1. Położenie obszaru badań
1 – jeziora, 2 – cieki, 3 – zlewnia Węgorzy, 4 – obszar badań, 5 – dział wodny dorzecza Łeby, 6 – wodowskazy
Fig. 3.5.1. Position of the studied area
1 – lakes, 2 – rivers, 3 – the Węgorza catchment, 4 – studied area, 5 – watershed of the Łeba catchment, 6 – water gauges

części dorzecza, znajduje się duży obszar bezodpływowy „Linia" o powierzchni około 70 km^2. Jest on prawie w całości położony na sandrze Bukowiny, będącym fragmentem dolinnego szlaku sandrowego Pradoliny Pomorskiej, a w strukturze hydrograficznej pełni funkcję alimentującą odpływ podstawowy. Sandr budują osady wodnolodowcowe składające się z piasków drobno- i średnioziarnistych. Lokalnie, pośród osadów sandrowych, pojawiają się najmłodsze gliny zwałowe, przybierające w formę „wysp" oraz osady będące pozostałością po bryłach martwego lodu. Jest to więc sandr typu „dziurawego". Północno-zachodnią część badanego obszaru pokrywa wysoczyzna morenowa płaska (położona na wysokości 175–180 m n.p.m.), zbudowana z glin zwałowych zlodowacenia wisły, z zagłębieniami wypełnionymi torfami (Prussak 2002).

Metody

Przy opracowaniu Mapy Hydrograficznej Polski w skali 1:50 000 (Wytyczne... 2005), naturalne wypływy wód podziemnych dzieli się na: punktowe (źródła stałe, źródła okresowe, źródła mineralne i lecznicze) oraz nieskoncentrowane (młaki, wycieki). Wstępne rozpoznanie przeprowadzone na obszarze badań dowiodło, iż uwagi na trudne warunki terenowe, możliwe jest jedynie rozróżnienie wypływów: punktowych i nieskoncentrowanych (powierzchniowych).

W pracy badawczej zastosowano metody: hydrograficznego kartowania terenowego i interpretacji hydrograficznej. Podczas hydrograficznego kartowania terenowego, do lokalizacji wypływów wód podziemnych wykorzystano GPS, do pomiaru wydajności – rynienki, naczynia cechowane, przelew Ponceleta i prądomierz Valeport 801. Temperaturę wody mierzono testerem firmy Hanna Instru-

ments. Interpretacja hydrograficzna map topograficznych umożliwiła określenie potencjalnej lokalizacji wypływów oraz dokonanie podziału hydrograficznego systemu Łeby (Fac-Beneda, 2005). Prace kameralne wykonywano na mapach topograficznych w skalach 1:50 000 i 1:10 000 oraz na mapie hydrograficznej 1:50 000 (Fac-Beneda 2005; Hryniszak 2005).

Badania przeprowadzono w czerwcu 2006 roku na odcinku o długości około 4 km, u podnóża krawędzi pradoliny, nad brzegami jezior: Lubowidzkiego Małego i Lubowidzkiego. Zmierzono również przepływ Węgorzy przy ujściu i na wylocie z Jeziora Lubowidzkiego.

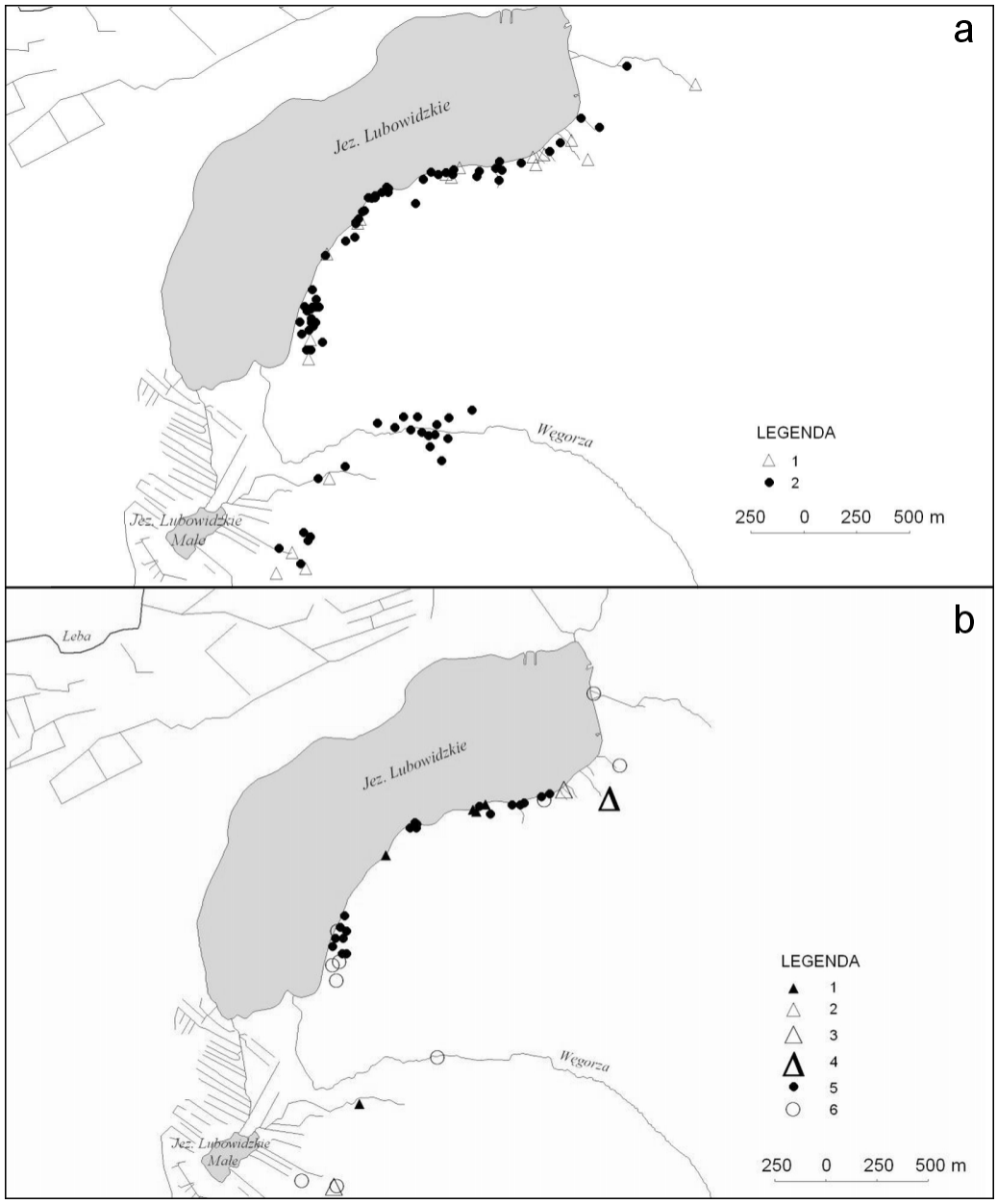
Wyniki

Badania przeprowadzone w Pradolinie Redy-Łeby, w okolicach Lęborka, nad Jeziorem Lubowidzkim, potwierdziły występowanie tam, sygnalizowanych już wcześniej w literaturze przedmiotu, wypływów wód podziemnych (Pazdro 1958; Drwal 1968, 1979, 1992; Fac-Beneda 2005). Zarejestrowano 70 wypływów wód podziemnych w bezpośrednim sąsiedztwie południowych brzegów Jeziora Lubowidzkiego i Jeziora Lubowidzkiego Małego. Większość z nich to wypływy nieskoncentrowane (ryc. 3.5.2a). Znajdują się one zazwyczaj w niewielkiej odległości od linii brzegowej. Wypływów punktowych jest zdecydowanie mniej niż nieskoncentrowanych i są one zlokalizowane wyżej i w większej odległości od brzegów jezior. W wielu, spośród zarejestrowanych wypływów, obserwowano tylko powolne sączenie się wody. Ich wydajności nie udało się niestety zmierzyć. Zmierzone natomiast wypływy punktowe i nieskoncentrowane różniły się znacznie wydajnością oraz temperaturą wody. Wydajność zawierała się w granicach od niespełna 0,1 do ok. 30 $dm^3 \cdot s^{-1}$, zaś temperatura wynosiła od 8,5 do 13,5°C (tab. 3.5.1, ryc. 3.5.2 b).

Tabela 3.5.1

Wypływy wód podziemnych w rejonie Jeziora Lubowidzkiego
Groundwater outflows in the Lubowidzkie Lake vicinity

Rodzaj wypływu	Wydajność [$dm^3 \cdot s^{-1}$]	Liczba zarejestrowanych wypływów	Liczba zmierzonych wypływów
nieskoncentrowane	< 0,5	55	11
	> 0,5		7
punktowe	< 0,5	15	7
	0,5 – 1,0		-
	1,0 – 10,0		4
	> 10,0		1



Ryc. 3.5.2. Lokalizacja (a) i wydajność (b) wypływów wód podziemnych w rejonie Jeziora Lubowidzkiego.
a – wypływy: 1 – punktowe, 2 – nieskoncentrowane; b – wydajność wypływów: punktowych: 1 – poniżej 0,5 $dm^3 \cdot s^{-1}$, 2 – 0,5–1,0 $dm^3 \cdot s^{-1}$, 3 – 1,0–10,0 $dm^3 \cdot s^{-1}$, 4 – ponad 10,0 $dm^3 \cdot s^{-1}$; nieskoncentrowanych: 5 – poniżej 0,5 $dm^3 \cdot s^{-1}$, 6 – powyżej 0,5 $dm^3 \cdot s^{-1}$

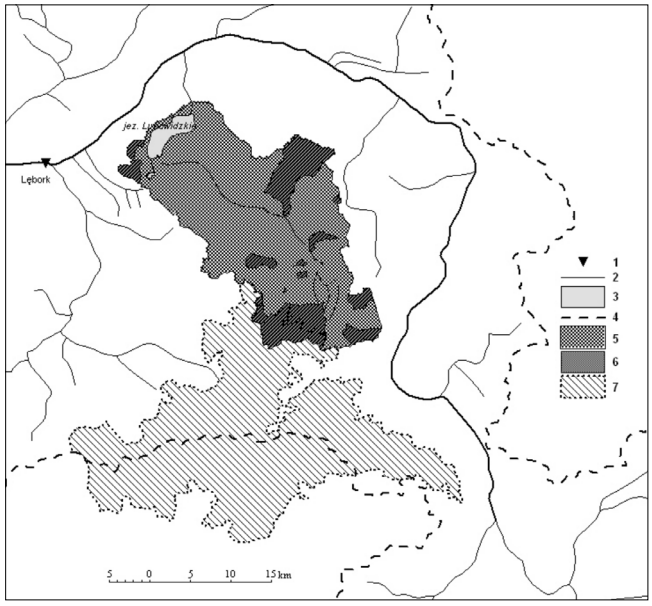
Fig. 3.5.2. Groundwater outflows layout (a) and yield (b) in the Lubowidzkie Lake vicinity.
a – outflows: 1 – point, 2 – non-concentrated; b – yield of outflows: point:1 – less than 0,5 $dm^3 \cdot s^{-1}$, 2 – 0,5–1,0 $dm^3 \cdot s^{-1}$, 3 – 1,0–10,0 $dm^3 \cdot s^{-1}$, 4 – more than 10,0 $dm^3 \cdot s^{-1}$; non-concentrated: 5 – less than 0,5 $dm^3 \cdot s^{-1}$, 6 – more than 0,5 $dm^3 \cdot s^{-1}$

W toku badań dokonano również pomiaru przepływu Węgorzy przy jej ujściu do Jeziora Lubowidzkiego i w miejscu jej wypływu. Wartości te wynosiły odpowiednio 0,11 $m^3 \cdot s^{-1}$ i 0,41 $m^3 \cdot s^{-1}$. Sumaryczny zmierzony dopływ wód pochodzących z wypływów, zasilających to jezioro, wynosił równocześnie: 0,15 $m^3 \cdot s^{-1}$. Zatem połowa przyrostu przepływu pochodzi właśnie ze zmierzonych wypływów wód podziemnych. Natomiast druga połowa – z drenażu wód podziemnych w obrębie zatopionej części misy Jeziora Lubowidzkiego.

Wnioski

Obszary objęte zlodowaceniem plejstoceńskim charakteryzują się różnorodnością i bogactwem obiektów hydrograficznych. Niewątpliwie, zaobserwowane w trakcie badań wypływy wód podziemnych tę różnorodność i bogactwo potwierdzają. Naturalne wypływy wód podziemnych dostarczają cennych informacji nie tylko z zakresu hydrogeologii, ale również dotyczących obszarów zasilania w dorzeczu oraz pośrednio − struktury genetycznej odpływu.

Wody wypływów zasilają jeziora przepływowe, zwiększając jednocześnie przepływy cieków. Dobrym przykładem jest tu, przywołany wcześniej, dopływ Łeby – Węgorza. Rzeka ta bierze swój początek w bezpośrednim sąsiedztwie obszaru bezodpływowego „Linia" (ryc. 3.5.3). Fragment owego obszaru wchodzi w skład zlewni pośredniej, która alimentuje odpływ podstawowy Węgorzy. Wody tej rzeki spływają z wysoczyzny. W miejscu gdzie wpływa ona do pradoliny, przepływa równocześnie przez Jezioro Lubowidzkie. W czerwcu 2006 r., przepływ Węgorzy, wypływającej z jeziora, był prawie czterokrotnie większy od przepływu zmierzonego w jej przekroju ujściowym.



Ryc. 3.5.3. Obszary zasilania w zlewni Węgorzy
1 – profil, 2 – cieki, 3 – jeziora, 4 – dział wodny dorzecza Łeby, 5 – zlewnia Węgorzy, 6 – obszar zasilania pośredniego w zlewni Węgorzy, 7 – obszar bezodpływowy „Linia"

Fig. 3.5.3. Alimentation area of the Węgorza catchment
1 – profile, 2 – rivers, 3 – lakes, 4 – watershed of the Łeba catchment, 5 – the Węgorza catchment, 6 –indirect alimentation area of the Węgorza catchment, 7 – the interior area „Linia "

Praca potwierdza wnioski z wcześniejszych badań (Drwal, Hryniszak 2003; Fac-Beneda 2005) wskazujące, iż obszary bezodpływowe (zlewnie pośrednie) pełnią zarówno funkcję alimentującą, jak i redukującą. Alimentują one odpływ podstawowy, zaś redukują powierzchniowy i podpowierzchniowy. Udział tych obszarów w powierzchni dorzecza może decydować o wielkości tej redukcji lub alimentacji, a tym samym o strukturze odpływu rzecznego (Hryniszak 2005).

Summary

Groundwater outflows along lower edge of proglacial stream valley

In the hydrographical structure of river systems, proglacial stream valleys, valleys and channel bottoms and flow-through lakes belong to draining elements. Previous researches (Drwal 1982, 1990, 1992; Drwal, Bogdanowicz 1986; Drwal, Borowiak 1996; Drwal, Hryniszak 2003; Fac-Beneda, Jereczek, Magierska 2002; Fac-Beneda 2003, 2005; Hryniszak 2005) using the method of hydrographical field mapping made the survey in occurrence of groundwater outflows in this area. A fragment of the Reda-Łeba proglacial stream valley located within the Łeba system was chosen for the researches.

Groundwater outflows in the Reda-Łeba proglacial stream valley indicated in the literature **(**Drwal 1968, 1979, 1992; Fac-Beneda 2005, Pazdro 1958) are confirmed by the researches carried on in the area of Lębork in the Lubowidzkie Lake. As a result of the hydrographical mapping, about 70 outflows (15 point and 55 non-concentrated) were recorded there in a section stretching in a distance of about 4 km. Their yield varies from 0.1 to 30 $dm^3 \cdot s^{-1}$. Hypothesis indicating that part of the Łeba catchment alimentation area is devoid of the outflows near "Linia" (area of about 70 km^2) (located on the outskirts of the catchment) is a consequence of the thorough and detailed field researches. It was revealed that water coming from precipitation is not completely balanced by evaporation, its excess returns to surface circulation in the streamway as a result of draining.

Wojciech Wawrzyniak
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza
61-680 Poznań, ul. Dzięgielowa 27, wojtekwawrzyniak@poczta.onet.pl

3.6. Próba wydzielenia podtypów wypływów wód podziemnych na klifie bałtyckim w Wolińskim Parku Narodowym

Wstęp

Studenckie Koło Naukowe Geografów (SKNG) UAM w Poznaniu od 1973 roku prowadzi badania naukowe na terenie wyspy Wolin, której indywidualność krajobrazowa oraz georóżnorodność i bioróżnorodność stały się głównymi bodźcami do założenia w 1960 roku Wolińskiego Parku Narodowego.

Woliński Park Narodowy zajmuje powierzchnię 10 937 ha, z czego obszar ochrony ścisłej stanowi 162 ha (1,5% powierzchni parku). Powierzchnia lasów wynosi 4422 ha (tj. 40,4%), zaś w drzewostanie dominuje buczyna pomorska. Pozostałą część powierzchni parku zajmują nadmorskie plaże z wysokimi klifami, wydmy, formy polodowcowe, a wśród nich jeziora. Bogactwo flory i fauny stanowi dodatkowy walor tego obszaru.

Klify stanowią krawędź najważniejszej jednostki geomorfologicznej Wyspy Wolin – Wolińskiej Moreny Czołowej. Na klifach odsłania się budowa geologiczna spiętrzonej glacitektonicznie moreny, która składa się z dwóch serii glin (odrzańskiej gliny szarej i bałtyckiej gliny brązowej), serii piasków i żwirów fluwioglacjalnych oraz eolicznych piasków pokrywowych (Kostrzewski, Stryjakiewicz 1986). Wiek utworów morenowych ocenia się na najstarszy dryas, powstały więc w fazie gardzieńsko-wolińskiej ostatniego zlodowacenia. Klify są najintensywniej modelowaną formą wyspy, kształtowane nieustannie przez procesy stokowe oraz abrazję.

Klif bałtycki rozciąga się od Międzyzdrojów do Świętouścia, w całości więc znajduje się w granicach WPN. Z nim właśnie wiąże się istotny element krążenia wody, budzący zainteresowanie krenologów – wypływy wód podziemnych.

Wypływy bijące z klifów były obiektem zainteresowania badaczy z ośrodka poznańskiego oraz studentów zrzeszonych w SKNG UAM już od lat 70. XX w. (Choiński 1978; Choiński, Wrzesiński 1986; Lewczyńska, Wrzesiński 1989; Poleszczuk, Ziarnek 1999; Nowacki 2000; Olkiewicz, Puk 2003). W ramach prac

prowadzonych w ostatnich latach wykonano m.in. inwentaryzację wypływów na obszarze całej wyspy Wolin oraz badania fizykochemiczne ich wód (Olkiewicz, Puk 2003).

Organizacja i metodyka badań

W czasie trwania obozu naukowego „WOLIN 2005" (17–31 lipca 2005) roku sekcja hydrograficzna SKNG podjęła się szczegółowej inwentaryzacji wypływów z klifu bałtyckiego, znajdującego się w granicach Wolińskiego Parku Narodowego.

Do inwentaryzacji wypływów na obszarze WPN zastosowano odbiornik GPS. Baza danych zawierała współrzędne geograficzne, nachylenie stoku oraz wysokość nad poziomem morza miejsca wypływu wód podziemnych na powierzchnię. Nachylenie stoków w pobliżu stref wysączania się wody wynosiło od 28 do 55º, a wysokość, na której położone są wypływy zawierała się w przedziale 0,5–15,4 m n.p.m. Stwierdzono, iż w zachodniej części klifu licznie występują źródła i wycieki (11 stref wypływów), zaś wschodnia jest niemal pozbawiona stałych wypływów. Na odcinku Wisełka-Świętouść zlokalizowano miejsca prawdopodobnego wysączania się wody w sprzyjających warunkach meteorologicznych.

Dysproporcja w liczbie i wydajności wypływów pomiędzy zachodnim i wschodnim odcinkiem klifu może wynikać z różnych warunków hydrogeologicznych. Miąższość utworów Wolińskiej Moreny Czołowej, w tym osadów wodonośnych, zmniejsza się w kierunku wschodnim. Natomiast zachodnia część klifu jest zasilana dopływem podziemnym ze zlewni Jeziora Gardno. Jezioro to jest położone najwyżej spośród wszystkich zbiorników wodnych występujących na wyspie Wolin (16 m n.p.m.), w odległości zaledwie 250 m od morza. Zbiornik ten jest zasilany przez wody podziemne, spływ powierzchniowy oraz bezpośredni opad. Nadwyżki wody są odprowadzane zgodnie z układem spadków hydraulicznych – w kierunku morza (Kostrzewski 1981).

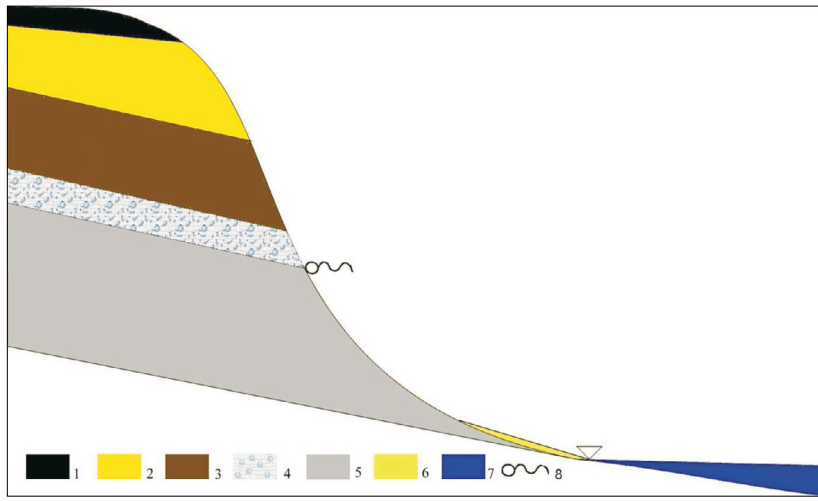
W oparciu o wyniki kartowania, możliwe było wyznaczenie obszaru testowego do szczegółowych badań cech fizykochemicznych wody. Cechowała go największa koncentracja wypływów spośród wszystkich zlokalizowanych stref. Szczegółowe obserwacje wydajności poprzedzono zainstalowaniem przelewów poniżej każdego z pięciu badanych obiektów. Umożliwiło to precyzyjny pomiar całej ilości wypływającej wody.

Zakres badań obejmował pomiary: wydajności wypływu, temperatury, przewodności elektrolitycznej i odczynu wody, wykonywane w odstępach czterogodzinnych. Nie wykonywano pomiarów podczas opadów deszczu oraz w ciągu 30 minut po jego ustąpieniu, ze względu na możliwe zakłócenie wyników

przez spływ powierzchniowy. Łącznie wykonano 47 serii pomiarowych w pięciu wypływach (od 19 VII 2005 r.) oraz 26 serii pomiarowych dwóch kolejnych wypływów, które uaktywniły się w trakcie trwania badań (23.VII).

Typy wypływów klifowych

Wśród zaobserwowanych stref wypływów wyraźnie wyodrębniają się strefy bezpośredniego ujścia wody z odsłoniętej warstwy wodonośnej oraz wypływy u podnóża klifu. W większości, są to wypływy rozproszone, które należy zakwalifikować do wycieków. Klif bałtycki podlega nieustannym procesom morfodynamicznym i wytworzenie się niszy, kształtowanej jedynie poprzez erozję wypływającej wody, jest możliwe tylko w wyjątkowo sprzyjających warunkach. Źródła, zasilane z poziomu międzyglinowego, występują zatem rzadko, jedynie w miejscach nie narażonych na procesy stokowe i depozycję materiału pochodzącego z wyższych partii klifu (ryc. 3.6.1). Pod względem cech fizykochemicznych źródła cechują się najmniejszymi wahaniami wszystkich rejestrowanych parametrów (tab. 3.6.1).



Ryc. 3.6.1. Schemat źródła klifowego
1 – gleba, 2 – piaski eoliczne, 3 – glina bałtycka, 4 – piaski i żwiry fluwioglacjalne, 5 – glina odrzańska, 6 – piaski i żwiry plażowe, 7 – morze 8 – miejsce wypływu
Fig. 3.6.1. Scheme of the cliff spring
1 – soil, 2 – aeolian sands, 3 – clay of the Vistula glaciation, 4 – sands and fluvioglacial gravels, 5 − clay of the Odra glaciation 6 – sands and beach gravels, 7 – sea, 8 – outflow site

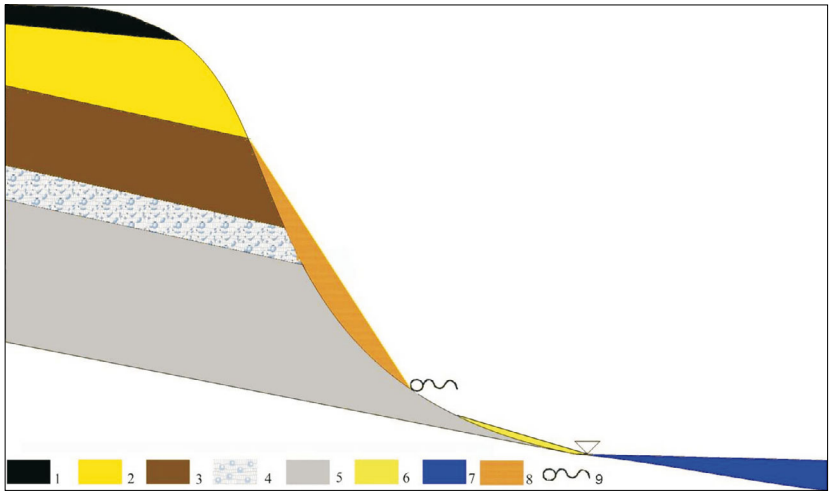
Tabela 3.6.1

Wyniki pomiarów wypływów reprezentatywnych dla każdej z trzech grup.
Results of outflow measurements representative for each group.

Wielkość	Wypływ 1		Wypływ 2		Wypływ 3	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.
Wydajność [$dm^3 \cdot min^{-1}$]	1,35	1,46	1,06	1,52	0,05	0,08
Temperatura [°C]	12,0	13,2	12,0	17,0	16,1	21,8
Konduktywność [$\mu S \cdot cm^{-1}$]	556	579	558	718	1370	1390
Odczyn	7,72	7,76	7,41	7,82	7,95	8,08

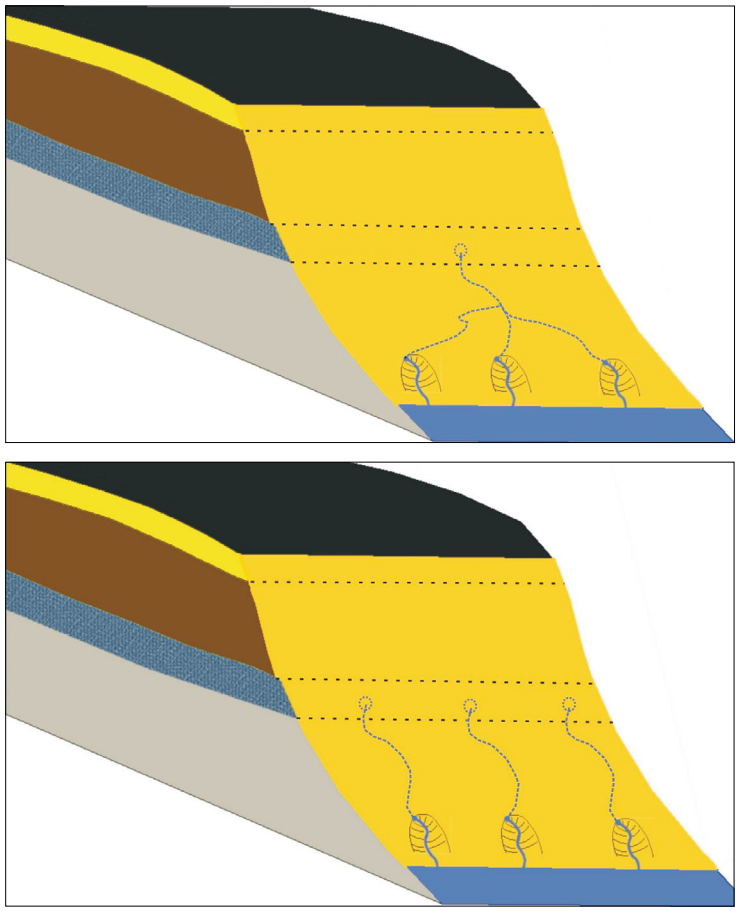
Wypływ: 1 – źródło klifowe, 2 – wyciek klifowo-osuwiskowy, 3 – wyciek osuwiskowy
Outflow: 1 – cliff spring, 2 – slide-cliff spring sapping, 3 – slide spring sapping

Wypływy u podnóża klifu mają charakter rozproszony. Brak tu kanału doprowadzającego wodę podziemną na powierzchnię w postaci skoncentrowanej, bowiem warstwa wodonośna jest zawsze przykryta grubą warstwą koluwiów (ryc. 3.6.2). Wysączająca się woda spływa grawitacyjnie pod materiałem osuwiskowym lub w jego wnętrzu i wydostaje się na powierzchnię dopiero na poziomie plaży. Strużki mogą też łączyć się wewnątrz koluwium w jeden wyciek. Sytuację taką warunkuje najczęściej duże nachylenie stoku klifu oraz występowanie bruzd lub rynien uformowanych po ulewnych deszczach.



Ryc. 3.6.2. Schemat wypływu klifowo-osuwiskowego
1 – gleba, 2 – piaski eoliczne, 3 – glina bałtycka, 4 – piaski i żwiry fluwioglacjalne, 5 – glina odrzańska, 6 – piaski i żwiry plażowe, 7 – morze, 8 – materiał osuwiskowo-spływowy, 9 – miejsce wypływu
Fig. 3.6.2. Scheme of the slide-cliff outflow
1 – soil, 2 – aeolian sands, 3 – clay of the Vistula glaciation, 4 – sands and fluvioglacial gravels, 5 – clay of the Odra glaciation, 6 – sands and beach gravels, 7 – sea, 8 – colluvium, 9 – outflow site

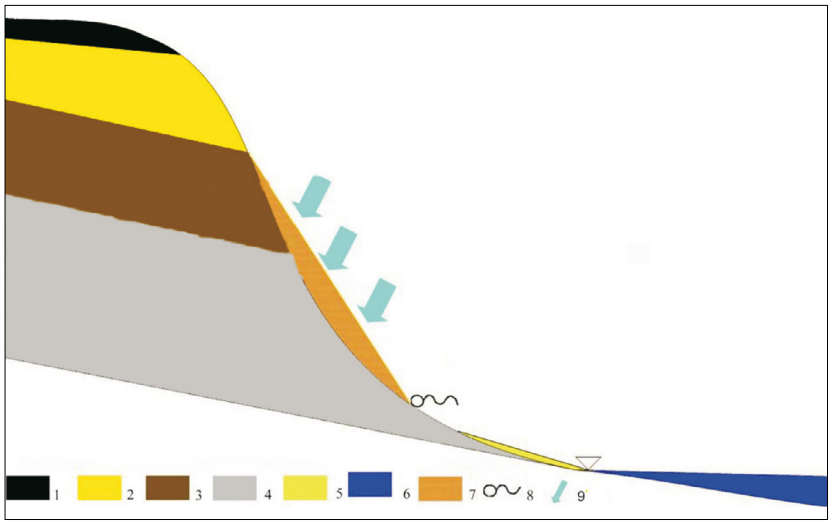
Strugi wody najczęściej docierają osobno do poziomu plaży, gdzie tworzą linię wycieków. Trudno określić, czy dana linia wycieków jest zasilana przez jeden (ryc. 3.6.3a), czy kilka (ryc. 3.6.3b) wypływów z warstwy wodonośnej. Jej wydajność może być zwiększana poprzez dopływ wody opadowej, która infiltruje w koluwium.



Ryc. 3.6.3. Schemat zasilania wypływu klifowo-osuwiskowego z jednego (a) lub kilku (b) miejsc wypływu wody podziemnej z warstwy wodonośnej. Objaśnienia jak na ryc. 3.6.1 i 3.6.2
Fig. 3.6.3. Alimentation scheme of the slide-cliff outflow from one (a) or a few (b) groundwater outflow sites from the aquifer. For explanation see fig. 3.6.1 and 3.6.2

Ten typ wypływu posiada więc dwie drogi zasilania: gruntową i opadową oraz łączy dwie struktury: klif i osuwisko, które są dla niego strefami zasilania. Charakteryzuje się znaczną amplitudą temperatury w cyklu dobowym oraz wzrostem wydajności i konduktywności po opadach atmosferycznych.

Kolejnym typem wypływów klifowych są okresowe wycieki, których jedyną strefą zasilania jest koluwium (ryc. 3.6.4). Wypływy te zanikają po kilku dniach okresu bezdeszczowego, a ich wydajność jest bardzo niska. Od wypływów należących do dwóch poprzednich grup różnią się wyraźnie wyższą konduktywnością, natomiast temperatura wypływającej wody jest bardzo wysoka (tab. 3.6.1).



Ryc. 3.6.4. Schemat wypływu osuwiskowego
1 – gleba, 2 – piaski eoliczne, 3 – glina bałtycka, 4 – glina odrzańska, 5 – piaski i żwiry plażowe, 6 – morze, 7 – materiał osuwiskowo-spływowy, 8 – miejsce wypływu, 9 – zasilanie
Fig. 3.6.4. Scheme of the slide outflow
1 – soil, 2 – aeolian sands, 3 – clay of the Vistula glaciation, 4 – clay of the Odra glaciation 5 – sands and beach gravels, 6 – sea, 7 – colluvium, 8 – outflow site, 9 – alimentation

Podsumowanie

W literaturze krenologicznej źródła klifowe są wyróżniane jako odrębny typ genetyczny, brak jest jednak szczegółowego opisu tego typu obiektów. Podobnie jest z typami źródeł osuwiskowych, które szerzej opisywane są zwykle w górach.

Propozycją autora jest wyróżnienie dla tak specyficznej jednostki morfologicznej, jaką jest klif, trzech podtypów wypływów wód podziemnych:

- klifowego – w którym wypływ, w postaci źródła lub wycieku, następuje bezpośrednio z naciętej warstwy wodonośnej, a wskutek erozji wodnej tworzy się nisza źródłowa;
- klifowo-osuwiskowego – posiadającego dwa rodzaje zasilania: gruntowe i opadowe; woda przemieszcza się w dwóch strukturach: najpierw w warstwie wodonośnej, a następnie przez osuwisko; nie zawsze zachodzi koncentracja wypływu ani wykształcenie niszy źródłowej;
- osuwiskowego – o charakterze okresowym; warstwą zasilającą jest kolu-wium.

Mechanizmy funkcjonowania wypływów wód pierwszego podtypu są poznane i opisane w literaturze (Moniewski 2004; Puk 2003 i inni), gdyż pod tym względem nie różnią się one zbytnio od wypływów w strefie nizin. Ich odrębność wynika tylko ze specyfiki klifu bałtyckiego, czyli krawędzi wolińskiej moreny czołowej. Aby wyjaśnić w pełni mechanizm zasilania wypływów klifowo-osuwiskowych należy przeprowadzić szczegółowe badania cech fizykochemicznych wód w okresie całego roku hydrologicznego oraz szczegółowo poznać budowę geologiczną i właściwości utworów budujących klif. Stosunkowo najprostsze jest wyjaśnienie funkcjonowania wypływów osuwiskowych, których reżim jest funkcją zasilania i zróżnicowania struktury koluwiów.

Mimo okresowych zmian lokalizacji wypływów, związanych z morfodynamiką klifu, funkcjonowanie wypływów wszystkich podtypów odbywa się w obrębie danej strefy. Potwierdzają to wieloletnie obserwacje dokonywane na obszarze klifu bałtyckiego przez wcześniejszych badaczy.

Summary

An attempt to establish subtypes of groundwater outflows on the Baltic cliff in the Woliński National Park

The results of the field research made by the hydrographic section of the Society of Geography Students at the Adam Mickiewicz University, the Department of Geography and Geology in Poznań, during a research camp WOLIN 2005 allowed to establish three subtypes of cliff outflows along the Baltic cliff. The first subtype is a layer cliff outflow – water escapes from the underground structures in place where the aquifer is notched. The floor of the permeable layer is located from 4 to 15 metres above the beach ledge. A spring niche is created owing to water erosion. The second subtype is a layer-slide cliff outflow. This one has two kinds of feeding – underground and atmospheric; water filtrates in two structures – first through the aquifer and then the slide. Such objects have no concentrated forms and they do not erode spring niches. The third established type – a slide cliff outflow has only one alimentation structure – colluvium stored in the bottom part of the cliff. It functions periodically using a supply of precipitation and disappears after a few days of a dry days. Two last subtypes of outflows are characteristic for their waters escaping under the foot of the cliff.

The functioning of water outflow mechanisms in subtype 1 is known and described in literature, as their functioning does not differ significantly from the outflows in the lowland areas. The only aspect making them stand out is a specific geomorphological location – i.e. the Baltic cliff which is the edge of the Wolin frontal moraine. The basis for establishing the second subtype is connected with its functioning during dry days (layer-related alimentation); its efficiency increases after falls (additional feeding from colluvium). The third subtype of outflows, existing only periodically, functions due to rainfall water absorbed by the slide material.

Despite temporary changes in the location of outflows, related to the cliff morphodynamics, the functioning of both subtypes occurs within a particular outflow zone. Varied functioning of cliff outflows should influence decisions on the particular choice of methodology in research procedures.

Przemysław Tomalski
Edmund Tomaszewski
Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej, Uniwersytet Łódzki
90-139 Łódź, ul. Narutowicza 88, thomal77@poczta.onet.pl, etomasz@geo.uni.lodz.pl

3.7. Alimentacja wód źródlanych i ich rola w strukturze odpływu małej zlewni nizinnej[1]

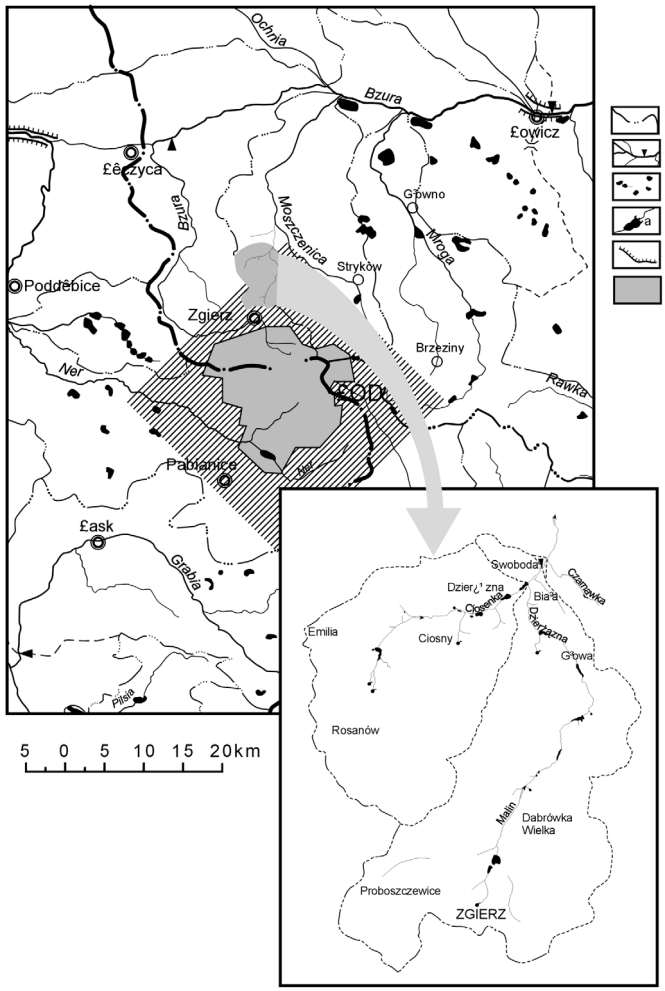
Wstęp

Na całkowity odpływ rzeczny składa się kilka form, wśród których jedną z ważniejszych jest odpływ podziemny. Realizuje się on pod postacią drenażu linijnego, zachodzącego wzdłuż koryt systemu oraz drenażu punktowego, w miejscach wypływu wód podziemnych na powierzchnię terenu. Proporcje pomiędzy powyższymi rodzajami drenażu mogą być różne, a zależą głównie od warunków hydrogeologicznych w zlewni, zazwyczaj bardzo zmiennych w przestrzeni. W związku z tym udział wód źródlanych w odpływie podziemnym oszacowany dla różnych dorzeczy jest zróżnicowany, a w najbardziej sprzyjających warunkach może osiągać nawet 90% (Janiec, Michalczyk 1988).

Autorzy postanowili zatem dokonać oceny znaczenia źródeł w zasilaniu małych cieków nizinnych okolic Łodzi pod względem wielkości odpływu źródlanego, jego zmienności sezonowej oraz ewentualnych zmian (naturalnych lub antropogenicznych) w dłuższym okresie. Poligonem badawczym jest zlewnia Dzierżąznej (ciek V rzędu) zamknięta wodowskazem w Swobodzie (ryc. 3.7.1). Jest to zlewnia badawcza Zakładu Hydrologii i Gospodarki Wodnej Uniwersytetu Łódzkiego, dobrze rozpoznana i wyposażona w urządzenia pomiarowe już we wcześniejszych latach (Jokiel 2002). Obszar odwadniany przez tę rzekę jest dość mocno zróżnicowany, jak na warunki środkowej Polski. Na południu, powierzchnia jest silnie urozmaicona i opada ku północy szeregiem stopni, wśród których wyróżnia się kilka poziomów morfologicznych (Klatkowa 1965). Mają one mało urozmaiconą powierzchnię szczytową i wyraźny, stromy stok. Północo-zachodnia część zlewni zajęta jest przez sandr grotnicko-lućmierski, a w części północnej zlewni znajdują się równiny zastoiskowo-jeziorne (Jokiel, Maksymiuk

[1] Zrealizowano w ramach projektu MNiI: 2P04E02929

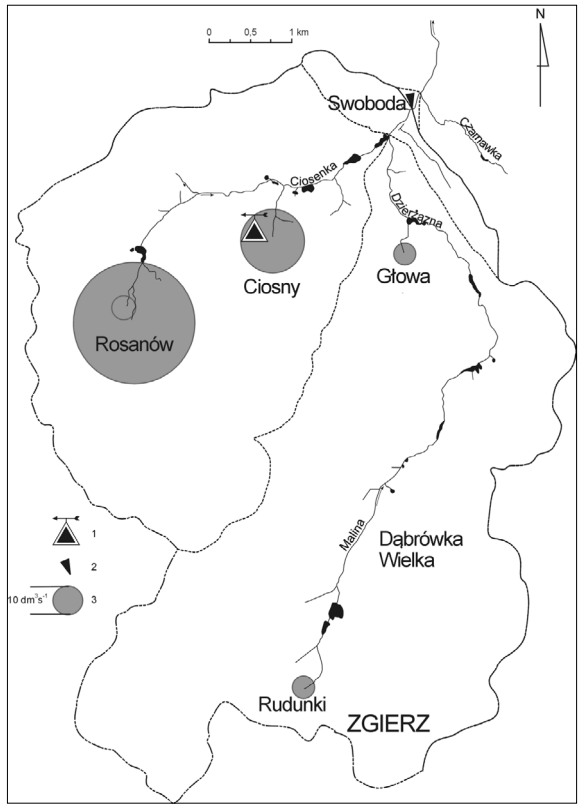
2000). Według podziału fizyczno-geograficznego Polski południowa część zlewni znajduje się w makroregionie Wzniesień Łódzkich, północna zaś na Równinie Łowicko-Błońskiej (Kondracki 1998).



Ryc. 3.7.1. Położenie zlewni Dzierżąznej (wg Jokiel 2002)
1– działy wodne, 2 – rzeki i wodowskazy, 3 – stawy, 4 – zbiorniki wodne, 5 – obwałowania i groble, 6 – zlewnia badawcza
Fig. 3.7.1. Position of the Dzierżązna catchment (after Jokiel 2002)
1 – watersheds, 2 – rivers and water-gauges, 3 – ponds, 4 – water reservoirs, 5 – dykes, 6 – studied catchment

Charakterystyka badanych źródeł

W zlewni Dzierżąznej występuje pięć większych wypływów wód podziemnych (ryc. 3.7.2). Biorąc pod uwagę rodzaj drenowanego wodonośca, można je zaliczyć do trzech typów. Pierwszy stanowią źródła drenujące wodnolodowcowe osady piaszczysto-żwirowe, pokrywające gliny zwałowe zlodowacenia warty. Należy do nich źródło w Rudunkach, dające początek Dzierżąznej (ryc. 3.7.2). Należy dodać, iż odwadniane przez nie struktury są silnie zaburzone glacitektonicznie. Średnia wydajność tego źródła jest niewielka i wynosi 7,5 $dm^{3} \cdot s^{-1}$, zaś sam wypływ ma charakter stały – współczynnik zmienności Maillet'a wynosi 2 (Moniewski 2004).



Ryc. 3.7.2. Sieć pomiarowa
1 – stacja meteorologiczna, 2 – miejsce stałych pomiarów przepływu, 3 – wydajność źródła
Fig. 3.7.2. Measurements network
1 – meteorological station, 2 – sites of the regular flow measurements, 3 – spring yield

Drugą grupę stanowią źródła odwadniające utwory sandru grotnicko-lućmierskiego. Zaliczyć do nich należy: źródliska Rosanów I i II oraz źródlisko w Ciosnach. Dwa ostatnie wypływy są zdecydowanie największymi na analizowanym obszarze. Ich wydajności kształtują się następująco: źródlisko Rosanów I – 42,5 $dm^3 \cdot s^{-1}$, Rosanów II – 8 $dm^3 \cdot s^{-1}$, Ciosny – 22 $dm^3 \cdot s^{-1}$. Według Moniewskiego (2004) źródliska: Rosanów I i Ciosny zaliczyć należy do stałych, a źródlisko Rosanów II – do mało zmiennych.

W ostatnim typie znalazł się wypływ w miejscowości Głowa. Odwadnia on pośrednio sandr grotnicko-lućmierski poprzez tranzytową strefę rozlewiskowo-jeziornych osadów piaszczysto-mułkowych. Jego średnia wydajność wynosi nieco ponad 7 $dm^3 \cdot s^{-1}$ – źródło mało zmienne (Moniewski 2004).

Większość badanych wypływów charakteryzuje się przewagą odpływu w półroczu chłodnym. Jedynie źródło w Rudunkach posiada niewielką przewagę wydatku w sezonie letnim mimo, że jego maksymalną wydajność zanotowano w listopadzie (Moniewski 2004). Najwyższe średnie miesięczne wydatki wszystkich źródeł notowane są w sezonie chłodnym (luty, marzec), minimalne zaś – w sierpniu i wrześniu.

Dane źródłowe i sposób ich przetwarzania

Podstawowy materiał hydrometryczny, który został wykorzystany w opracowaniu pochodził z okresu 7 lat hydrologicznych (1999–2005). Złożyły się na niego ciągi terminowych, dwutygodniowych pomiarów wydajności źródeł, seria codziennych wartości przepływu mierzona w profilu zamykającym zlewnię (Swoboda) oraz seria dobowych sum opadowych mierzonych na posterunku w Ciosnach (ryc. 3.7.2).

Przed przystąpieniem do analizy dane wejściowe zostały odpowiednio przekształcone. Powstały w ten sposób nowe szeregi o interwale miesięcznym. Obejmują one:

– średnie miesięczne wydajności poszczególnych źródeł,
– miesięczne sumy opadów skorygowane poprawkami Chomicza,
– średnie miesięczne przepływy całkowite w przekroju Swoboda,
– średnie miesięczne przepływy pochodzenia podziemnego w przekroju Swoboda. Szereg ten powstał dzięki separacji hydrogramu przepływu (wartości dobowe) przy użyciu algorytmu ET (Tomaszewski 2001). Na podstawie dobowych wartości odpływu podziemnego obliczono średnie miesięczne.

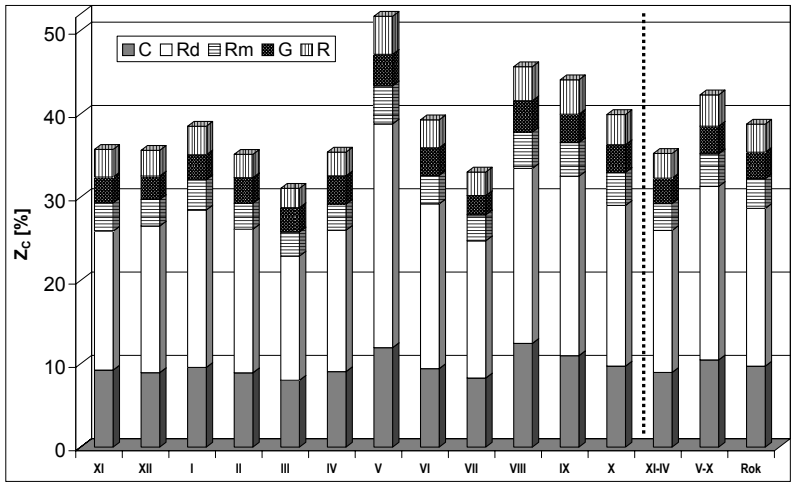
Na podstawie tak wyznaczonych ciągów danych możliwe było skonstruowanie i obliczenie charakterystyk pochodnych, niezwykle pomocnych w dalszych analizach:

– udział wód źródlanych w odpływie całkowitym – Z_C [%]
– udział wód źródlanych w odpływie podziemnym – Z_P [%]
– uwspółczynnik odpływu źródlanego – Z_{OP} [%].

Struktura zasilania wodami źródlanymi

Przeciętny udział wód źródlanych w odpływie całkowitym wyniósł w badanej zlewni 39% (ryc. 3.7.3). Alimentacja letnia charakteryzowała się zdecydowanie większą intensywnością (42,3%) niż zimowa (38%). Jest to oczywistą konsekwencją braku powierzchniowego i podpowierzchniowego zasilania roztopowego w półroczu letnim, jak również istotnej zależności od opadów letnich oraz warunków termiczno-wilgotnościowymych sezonu wegetacyjnego. W układzie miesięcznym zauważyć można trzy wyróżniające się okresy o odmiennych genetycznie uwarunkowaniach udziału zasilania źródlanego w odpływie całkowitym (ryc. 3.7.3). Okres późnozimowy (I–III) charakteryzuje się stopniowym spadkiem wartości Z_C, związanym z powolnym uwalnianiem zasobów w pokrywie śnieżnej. Po nim następuje okres wiosenno-letni (V–VII), gdzie poziom alimentacji wód źródlanych traci stopniowo na znaczeniu w związku z nadchodzeniem pory letnich deszczów. W ostatnim, letnio-jesiennym sezonie (VIII–IX), recesja alimentacji wód źródlanych pozostaje w związku z zanikaniem opadów letnich,

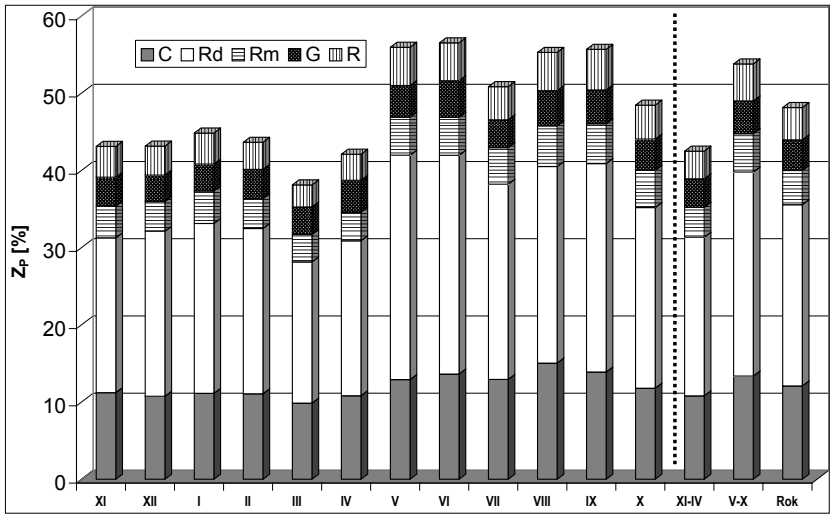
końcem sezonu wegetacyjnego oraz reżimem zbiorników wód podziemnych, drenowanych przez źródła.



Ryc. 3.7.3. Udział wód źródlanych w odpływie całkowitym (1999−2001)
Z_C – wskaźnik udziału wód źródlanych w odpływie całkowitym;C – Ciosny, Rd – Rosanów I (duże), Rm – Rosanów II (małe), G – Głowa, R – Rudunki
Fig. 3.7.3. Share of the spring water in the total runoff (1999–2001)
Z_C – share of the spring water in total runoff index

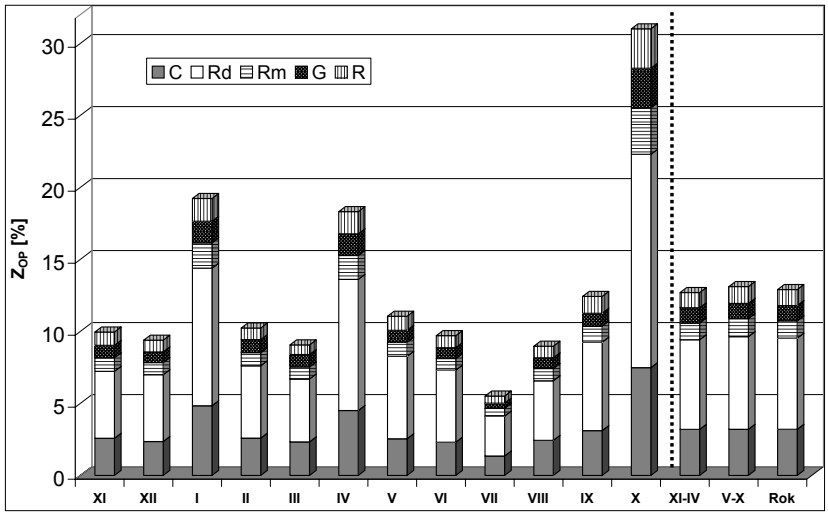
Warto zauważyć, że źródła o małych wydajnościach „zachowują" się inaczej niż wypływy duże (ryc. 3.7.3). Wykazują one bowiem znacznie większą stabilność sezonową w zakresie parametru Z_C. Można nawet zaryzykować stwierdzenie, iż wraz ze wzrostem wydajności źródła rośnie jego aktywność sezonowa.

Przeciętny udział zasilania źródlanego w odpływie podziemnym jest oczywiście nieco wyższy niż w całkowitym i wynosi 48% (ryc. 3.7.4). Jednakże zróżnicowanie pomiędzy półroczami jest tu większe, a wartości Z_P wynoszą odpowiednio: 42,5% w półroczu zimowym i 53,8% w półroczu letnim. Warto jednocześnie zauważyć, że w obrębie półroczy, udział wód źródlanych w zasilaniu podziemnym jest praktycznie stały, zaś przy zmianie półrocza wartości tej charakterystyki zmieniają się niemal skokowo. To zaś wskazuje, że zbiorniki wód podziemnych, które są drenowane przez 5 badanych źródeł, zdominowały drenaż korytowy w zlewni. Ponadto, niższy o ok. 10% poziom wskaźnika Z_P w półroczu zimowym wskazuje na dużą rolę okresowych form zasilania podziemnego w tym czasie (odpływ krótkookresowy), związanych z okresami odwilży śródzimowych (lub bezśnieżnymi okresami zimy), a co za tym idzie okresowo dobrymi warunkami infiltracyjnymi (brak wegetacji). Z punktu widzenia Z_P, źródła małe, podobnie jak w przypadku Z_C, wykazują większą stabilność sezonową niż wypływy o dużych wydajnościach.



Ryc. 3.7.4. Udział wód źródlanych w odpływie podziemnym (1999−2001)
Z_P – wskaźnik udziału wód źródlanych w odpływie podziemnym; C – Ciosny, Rd – Rosanów I (duże), Rm – Rosanów II (małe), G – Głowa, R – Rudunki
Fig. 3.7.4. Share of the spring water in the groundwater runoff (1999–2001)
Z_P – share of the spring water in groundwater runoff index

Jednym z interesujących zagadnień opisujących strukturę obiegu wody w zlewni jest ocena tempa i stopnia transformacji opadu atmosferycznego. W odniesieniu do źródeł, problematyka ta może poszerzyć zakres informacji uzyskiwanych na temat infiltracji efektywnej oraz procesów z nią związanych. Należy wszak pamiętać, że w związku z przyjętym tu krokiem czasowym (1 miesiąc) nie wszystkie opóźnienia w alimentacji zbiorników wód podziemnych zasilających źródła zostaną uwzględnione w obrębie tej samej jednostki czasowej. Przeciętnie w badanej zlewni wielkość rocznego drenażu źródlanego odpowiada ok. 13% rocznej sumy opadu skorygowanego (ryc. 3.7.5). Wartość ta jest bardzo zbliżona w obu półroczach. W zasadzie wskaźnik Z_{OP} jest stabilny w ciągu całego roku z kilkoma wyjątkami – I, IV, VII, X. W wymienionych miesiącach wystąpiły skrajnie niskie lub skrajnie wysokie sumy opadów (np. w październiku 2000 r. – 8 mm, w lipcu 2000 r. – 225 mm). Zatem odchylenia wskaźnika od średniej wynikają raczej z jego dużej „czułości" na sumy opadu odbiegające od typowych, co dodatkowo uwypuklane jest niskimi wartościami przyjmowanymi przez wskaźnik (kilkanaście procent). Przy dłuższej serii obserwacyjnej problem wartości odstających prawdopodobnie zaniknąłby, wskazując na dużą stabilność sezonową tego estymatora infiltracji efektywnej.

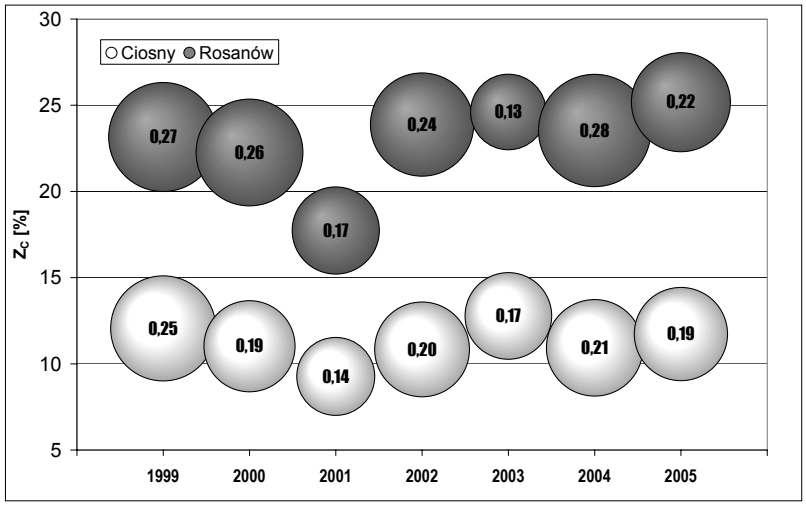


Ryc. 3.7.5. Stosunek wydajności źródeł do opadu (1999−2001)
Z_{OP} – współczynnik odpływu źródlanego; C – Ciosny, Rd – Rosanów I (duże), Rm – Rosanów II (małe), G – Głowa, R – Rudunki
Fig. 3.7.5. Relation of spring yield to the precipitation (1999–2001)
Z_{OP} – coefficient of spring yield

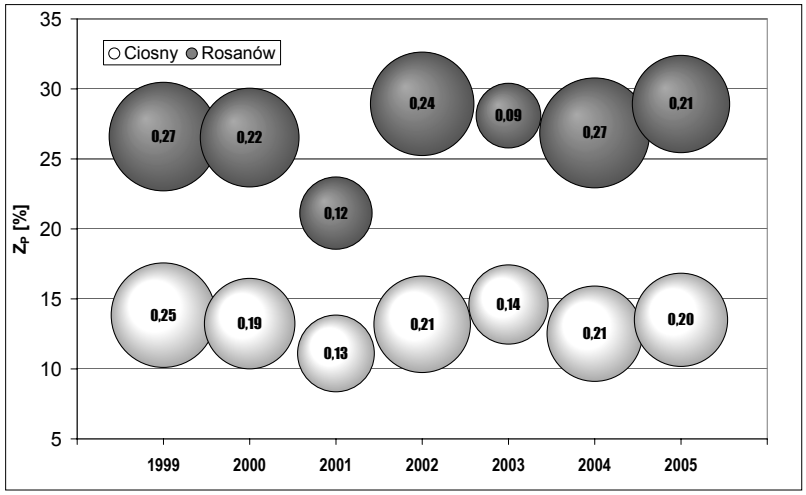
Zmienność wieloletnia

W trakcie badań nad wypływami wód podziemnych w zlewni Dzierżąznej stwierdzono, iż dwa spośród nich (Ciosny i Rosanów I), tworzą przeciętnie ponad 75% sumarycznego wydatku wszystkich źródeł, zaś ich reżim i cechy można uznać za typowe dla wypływów drenujących najzasobniejsze zbiorowiska wód podziemnych zlewni – zbiornik w osadach sandru grotnicko-lućmierskiego. Dlatego w dalszej części pracy, ocenie zostanie poddana seria pomiarów terminowych dla dwu wymienionych wyżej źródeł, pochodząca z 7-letniego okresu obserwacyjnego (1999–2005).

Średni roczny udział wód źródlanych w odpływie całkowitym w kolejnych latach badanego okresu utrzymywał się na podobnym poziomie (ryc. 3.7.6). Wyjątek stanowił rok 2001, w którym udział ten był zdecydowanie niższy. Warto jednak zauważyć, że zmienność Z_C w obrębie wzmiankowanego roku była również niewielka, co świadczy o równomiernym rozłożeniu pozostałych form zasilania. Można też dodać, że współczynniki zmienności badanej charakterystyki w kolejnych latach były różne i nie wykazywały żadnych tendencji do grupowania lub zmian kierunkowych.



Ryc. 3.7.6.
Udział wód źródlanych w odpływie całkowitymi jego zmienność miesięczna (1999–2005)
Z_C – wskaźnik udziału wód źródlanych w odpływie całkowitym
Średnica koła i wartość liczbowa obrazują wielkość współczynnika zmienności, obliczonego na podstawie wartości miesięcznych z danego roku.
Fig. 3.7.6. Share of the spring waters in total runoff and its monthly variability (1999–2005)
Z_C – share of the spring waters in total runoff index
Circle diameter and the number inside describe the value of the variation coefficient based on the monthly values from one year.

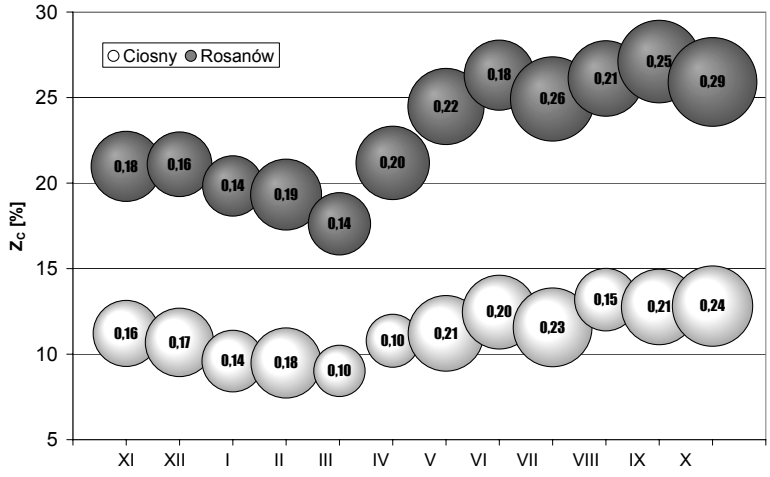


Ryc. 3.7.7.
Udział wód źródlanych w odpływie podziemnym i jego zmienność miesięczna (1999–2005)
Z_P – wskaźnik udziału wód źródlanych w odpływie podziemnym
Średnica koła i wartość liczbowa obrazują wielkość współczynnika zmienności, obliczonego na podstawie wartości miesięcznych z danego roku.
Fig. 3.7.7. Share of the spring waters in groundwater runoff and its monthly variability (1999–2005)
Z_P – share of the spring water in groundwater runoff index
Circle diameter and the number inside describe the value of the variation coefficient based on the monthly values from one year.

Udział zasilania źródlanego w odpływie podziemnym jest nieco bardziej wyrównany niż w odpływie całkowitym (ryc. 3.7.7). Tu również obserwujemy obniżoną alimentację w roku 2001, co w powiązaniu z niską wartością Z_C może świadczyć, że w roku tym, o niskim odpływie wód źródlanych zadecydował niski stopień wypełnienia zbiorników wód podziemnych a nie wysoka wartość odpływu rzecznego. Po raz kolejny potwierdza się teza, że źródło o mniejszym wydatku (Ciosny) wykazuje większą stabilność w zakresie formowania odpływu rzecznego.

Zmienność sezonowa

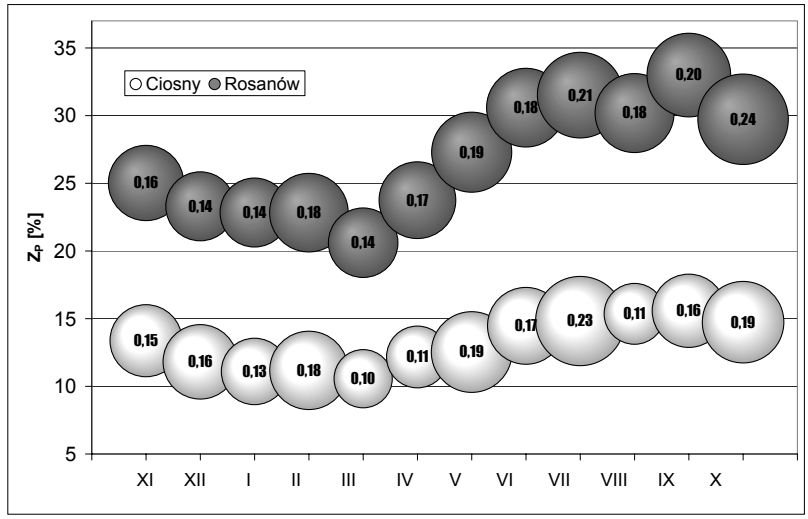
W układzie sezonowym, minima udziału wód źródlanych w odpływie całkowitym przypadają na marzec (ryc. 3.7.8). Jest to przede wszystkim efektem wzmożonego zasilania powierzchniowego koryt rzecznych w wyniku roztopów. Warto przy tym zauważyć, że marcowe wskaźniki są jednymi z najbardziej stabilnych w wieloleciu. Maksymalne wartości Z_C przypadają zaś na wrzesień i październik, gdy zachodzi ograniczone zasilanie powierzchniowe po zakończonej porze opadów letnich. Jednocześnie, zmienność tej charakterystyki w wymienionych miesiącach jest największa zarówno w Rosanowie I, jak i w Ciosnach (współczynnik zmienności: 0,21–0,29). Oznacza to, że w miesiącach jesiennych można oczekiwać zarówno wilgotnych okresów i niewielkiej alimentacji wodami źródlanymi, jak i sytuacji odwrotnych – okresów suchych z dużym udziałem wód ze źródeł w odpływie całkowitym.



Ryc. 3.7.8. Udział wód źródlanych w odpływie całkowitym i jego zmienność miesięczna (1999–2005)
Z_C – wskaźnik udziału wód źródlanych w odpływie całkowitym
Średnica koła i wartość liczbowa obrazują wielkość współczynnika zmienności, obliczonego na podstawie wartości miesięcznych z badanego okresu.

Fig. 3.7.8. Share of the spring waters in total runoff and its monthly variability (1999–2005)
Z_C – share of the spring water in total runoff index
Circle diameter and the number inside describe the value of the variation coefficient based on the monthly values from the studied period.

Udział wód źródlanych w odpływie podziemnym i całkowitym wykazuje podobny przebieg sezonowy (ryc. 3.7.9). Uwagę zwraca relatywnie wyższy poziom wartości Z_P w stosunku do Z_C w miesiącach letnich oraz większa stabilność wskaźników w miesiącach zimowych. Jest to dość wyraźne wskazanie na cechy reżimu zbiorników wód podziemnych zasilających źródła, w których zimowa stabilizacja wywołana jest ograniczonym zasilaniem, zaś letnie „rozchwianie" pozostaje w związku ze zmiennymi warunkami termiczno-wilgotnościowymi. W przypadku tej charakterystyki również bardziej stabilnym w wieloleciu jest źródło o mniejszej wydajności – Ciosny.



Ryc. 3.7.9.
Udział wód źródlanych w odpływie podziemnym i jego zmienność miesięczna (1999–2005)
Z_P – wskaźnik udziału wód źródlanych w odpływie podziemnym. Średnica koła i wartość liczbowa obrazują wielkość współczynnika zmienności, obliczonego na podstawie wartości miesięcznych z badanego okresu.
Fig. 3.7.9. Share of the spring waters in groundwater runoff and its monthly variability (1999–2005)
Z_P − share of the spring waters in groundwater runoff index
Circle diameter and the number inside describe the value of the variation coefficient based on the monthly values from the studied period.

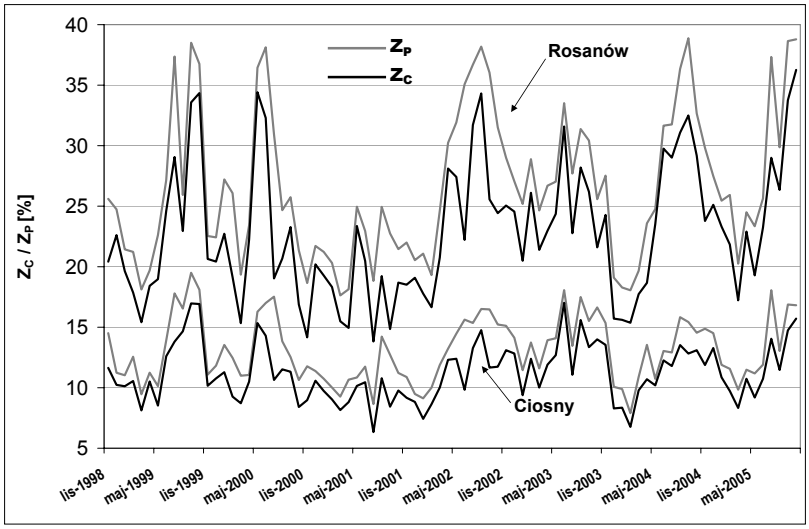
Podsumowanie

Ocena udziału wód źródlanych w formowaniu przepływu rzecznego jest zagadnieniem interesującym i poszerzającym zakres uzyskiwanych dotąd informacji. Rozpoznanie wielkości i zmienności udziału tej formy zasilania w stosunku do innych form pozwala z jednej strony na wnioskowanie o cechach reżimu rzecznego, z drugiej zaś, o czynnikach które reżim ten warunkują.

Poza szczegółowymi wnioskami zamieszczonymi w poprzednich rozdziałach, warto zwrócić uwagę na jeszcze jeden aspekt zagadnienia. Otóż ocena zaproponowanych w opracowaniu charakterystyk może być pomocna w badaniach związanych z określaniem stopnia wpływu antropopresji na obieg wody, zwłasz-

cza w układzie wieloletnim. Wykrycie istotnych trendów czy fluktuacji, uzupełnionych obliczeniem innych miar, może poszerzyć zakres wiedzy na temat ingerencji człowieka w strukturę hydrogeologiczną dorzecza.

Źródła zlewni Dzierżąznej, choć położone w pobliżu wielkiej aglomeracji i na trasie projektowanej autostrady, nie wykazywały w badanym okresie istotnych trendów w przebiegu analizowanych charakterystyk (ryc. 3.7.10). Oznacza to, że działalność człowieka ta tym terenie jeszcze nie zdołała zmienić warunków formowania się odpływu.



Ryc. 3.7.10. Udział wód źródlanych w odpływie całkowitym i podziemnym (1999−2005)
Z_C – wskaźnik udziału wód źródlanych w odpływie całkowitym
Z_P – wskaźnik udziału wód źródlanych w odpływie podziemnym

Fig. 3.7.10. Share of the spring waters in total and groundwater runoff (1999–2005)
Z_C − share of the spring waters in total runoff index
Z_P − share of the spring waters in groundwater runoff index

Summary

Spring water alimentation and its part in the flow structure in a small lowland catchment

Total river runoff consists of a few various flow components, where groundwater runoff seems to be the most important. It is compound of line drainage, along river channel and point drainage, in springs and other effluents. Proportions between these types of drainage may be various because they strongly depend on hydrogeological structure. These structures are changeable in space so the share of spring water in groundwater runoff is also variable in different catchments.

The chapter presents the results of the studies that have been conducted in the period 1999–2005 in Dzierżązna catchment. It was aimed at defining the role of springs in water supply of the small river situated in Łódź Hills. Studies envelop 5 springs in this catchment. On the basis of hydrometric and meteorological measurements, vectors of direct characteristics were created: spring yields, runoff (total and groundwater) and sum of precipitation. As a result, share index of the spring water in total runoff and groundwater runoff was calculated. There was also computed the share ratio of the spring water in precipitation transformation. These indices were used to analyze the problem of spring water influence on runoff.

Marek Walisch
Pracownia Ochrony Jakości Wód, Uniwersytet Łódzki
90-139 Łódź, ul. Narutowicza 88, walischm@uni.lodz.pl

3.8. Zasilanie źródłowe małych zlewni regionu łódzkiego na tle przepuszczalności utworów powierzchniowych

Położenie badanych zlewni

Do badań hydrologicznych wytypowano siedem zlewni nizinnych regionu łódzkiego, reprezentujących zróżnicowane warunki środowiska geograficznego. Cztery spośród nich (Grzmiąca, górna Moszczenica, Struga Dobieszkowska, Ciosenka) stanowią część dorzecza Bzury i są położone na północny wschód i północ od Łodzi, w tzw. strefie krawędziowej Wyżyny Łódzkiej (obszar Wzniesień Łódzkich − Kondracki 1998). Pozostałe trzy, należące do dorzecza Warty (Pałusznica, górna Grabówka i górna Dobrzynka), leżą na południowy zachód i południe od Łodzi, odpowiednio na obszarze Równiny Łaskiej oraz Wysoczyzny Piotrkowskiej. Wszystkie zlewnie są położone w obrębie regionu łódzkiego pojmowanego zgodnie z koncepcją Dylika (1948) − ryc. 3.8.1.

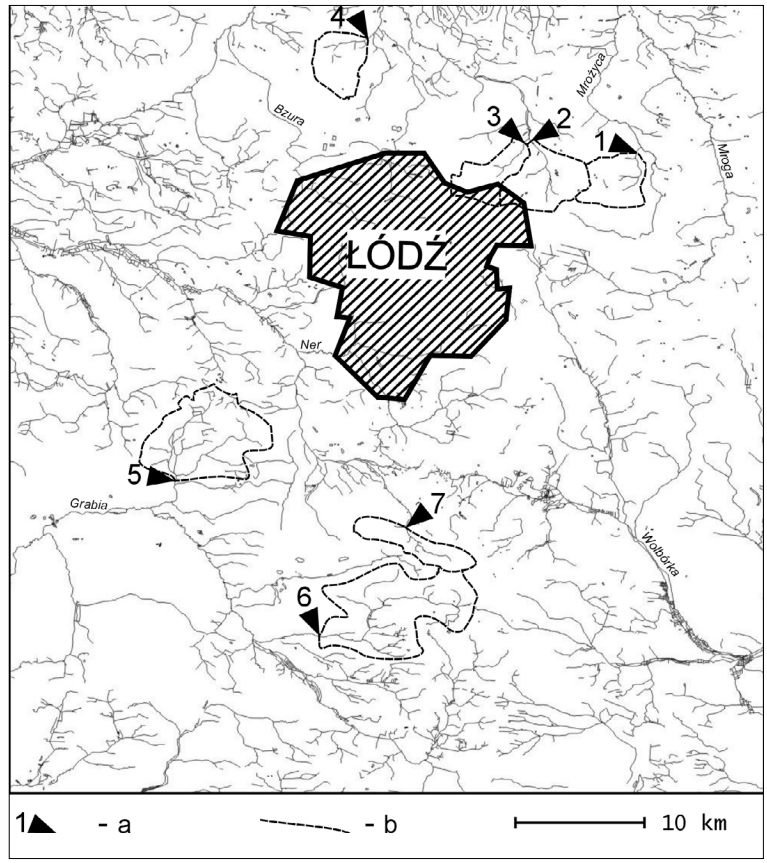
Materiał badawczy

Badania terenowe w zlewniach były prowadzone w latach hydrologicznych 1996−1997. Polegały one na systematycznych pomiarach przepływu wody w profilach zamykających z częstotliwością raz na dwa tygodnie. Każda zlewnia została też szczegółowo skartowana (pięć – latem 1995 r., a pozostałe: Pałusznica i górna Dobrzynka – latem 1996 r.). W trakcie szczegółowego kartowania zmierzono wydajność wszystkich źródeł. Pomiary te powtórzono w terminie późniejszym, a zdobyte w ten sposób informacje posłużyły do obliczenia sumarycznej wydajności wypływów.

Dane uzyskane z systematycznych pomiarów umożliwiły ustalenie średniego odpływu całkowitego oraz podziemnego. Odpływ całkowity zweryfikowano dodatkowo w oparciu o dane z profili-analogów sieci IMGW. Korelacja (r) między przepływami pomierzonymi i zaczerpniętymi z bazy IMGW była bardzo wysoka (0,85−0,98). W oparciu o uzyskane równolegle równania regresji, obliczono codzienne przepływy w badanych przekrojach. Separacji odpływu podziemnego z odpływu

całkowitego dokonano na podstawie procedury, która nawiązuje do metody ścięcia fali (Walisch 2003). Materiały te w dalszym etapie wykorzystano do oszacowania udziału zasilania źródłowego w poszczególnych zlewniach.

Informacje dotyczące litologii utworów powierzchniowych zostały zaczerpnięte ze szczegółowych map geologicznych w skali 1:50 000. Po niewielkich uproszczeniach, użyto je do obliczenia wskaźnika nieprzepuszczalności *N*, opartego na propozycji Bołdakowa (Czarnecka 1987).



Ryc. 3.8.1. Położenie badanych zlewni
a – profile zamykające zlewnie: 1 – Grzmiąca, 2 – Moszczenica, 3 – Struga Dobieszkowska, 4 – Ciosenka, 5 – Pałusznica, 6 – Grabówka, 7 – Dobrzynka; b – dział wodny badanych zlewni
Fig. 3.8.1. Position of the researched catchments
a – profiles closing catchment; b − watershed of the researched catchments

Cele badań

Podstawowym celem przeprowadzonych badań jest identyfikacja ewentualnych powiązań pomiędzy możliwościami infiltracyjnymi utworów powierzchniowych zlewni, czyli ich przepuszczalnością, a całkowitą wydajnością bijących w zlewniach źródeł. Istnieje bowiem duże prawdopodobieństwo, że na Niżu Polskim, gdzie inne czynniki środowiskowe wykazują ograniczony wpływ na charakter wypływów wód podziemnych, właśnie przepuszczalność utworów decyduje o ich liczbie i wydatku. Stwierdzone zależności zostały przedstawione na tle ogólnej charakterystyki fizyczno-geograficznej i geologicznej zlewni. Po-

zwoli to lepiej zrozumieć i ocenić korelację pomiędzy zasobnością wodonośców, bezpośrednio powiązaną z ich miąższością i rozległością, a wydajnością źródeł i dynamiką drenażu linijnego w obrębie zlewni.

Zróżnicowanie wybranych charakterystyk fizyczno-geograficznych badanych zlewni

Zlewnie regionu łódzkiego różnią się pod względem cech fizyczno-geograficznych. Ta różnorodność była zasadniczym kryterium ich doboru. Spadki zlewni „północnych" są wyraźnie większe niż zlewni „południowych" (ryc. 3.8.1; tab. 3.8.1). Podobną prawidłowość można dostrzec w zestawieniu wartości odnoszących się do spadku cieku głównego (tab. 3.8.1).

Tabela 3.8.1

Wybrane charakterystyki fizyczno-geograficzne badanych zlewni
Selected physico-geographical parameters of the researched catchments

L.p.	Zlewnia	Ψ	J	D_S	λ
1	Pałusznica	4,8	1,58	**0,49**	20,2
2	Grabówka	13,5	2,97	0,41	21,9
3	Dobrzynka	21,5	3,12	0,31	6,3
4	Ciosenka	14,0	3,43	0,42	**30,6**
5	Grzmiąca	23,0	**6,08**	0,36	20,5
6	Struga Dobieszkowska	**27,5**	5,86	0,30	16,4
7	Moszczenica	21,7	7,18	0,34	8,0

Ψ – spadek zlewni, liczony wg wzoru $\Psi = \Sigma l \cdot \Delta H \cdot A^{-1}$ [‰] (Byczkowski 1979), J – spadek cieku głównego [‰], D_S – gęstość cieków stałych [km·km^{-2}], λ – zalesienie zlewni [%].
W przypadku zlewni Grzmiącej i Strugi Dobieszkowskiej za ciek główny uznano ich południowe odcinki.
Wytłuszczonym drukiem oznaczono wartości maksymalne w kolumnach.

Ψ – relief ratio of catchment calculated after Byczkowski (1979) according to the formula: $\Psi = \Sigma l \cdot \Delta H \cdot A^{-1}$ [‰], J – main river slope [‰], D_S – density of permanent rivers [km·km^{-2}], λ – forestation of catchment [%].
In the cases of the Grzmiąca and Struga Dobieszkowska catchments southern parts of river. network were assumed as the headsprings of the rivers.
Bold type indicates maximum values in columns.

Gęstość sieci rzecznej nie wykazuje tak dużego zróżnicowania. Najniższe wskaźniki D_s dotyczą zlewni Strugi Dobieszkowskiej i Dobrzynki. Są one głównie wynikiem występowania tu rozległych zlewni zerowego odpływu. Zlewnia Pałusznicy, którą charakteryzuje największa gęstość sieci, ma równocześnie najpłycej położony pierwszy poziom wodonośny i jest najbardziej płaska.

Zalesienie zlewni jest zróżnicowane. Oprócz wskaźnika lesistości (λ) istotna jest też zwartość kompleksów leśnych. W zlewniach Dobrzynki i Moszczenicy udział lasów w pokryciu terenu jest znikomy (λ<10%), natomiast największą po-

wierzchnię zajmują one w zlewni Ciosenki (λ>30%) Istotną rolę w łagodzeniu przepływów ekstremalnych Strugi Dobieszkowskiej odgrywa zwarty kompleks leśny położony na prawym zboczu jej doliny (Walisch 2003).

Badane zlewnie są również bardzo zróżnicowane pod względem budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych. W zlewniach Grzmiącej i Moszczenicy utwory piaszczysto-żwirowe tworzą zwartą serię o miąższości dochodzącej miejscami do 60–80 m (Walisch 2003). Wodonosiec ten charakteryzuje się wyjątkowo dużą zasobnością wodną. Miąższość osadów czwartorzędowych maleje w kierunku południowym, toteż warunki hydrogeologiczne zlewni położonych na południowy zachód od Łodzi są wyraźnie mniej korzystne. Warto podkreślić, że we wszystkich badanych zlewniach utwory fluwioglacjalne są rozdzielone seriami glin zwałowych. Wskutek piętrowego układu warstw wodonośnych krążenie wód podziemnych w ich obrębie jest skomplikowane.

Przepuszczalność utworów powierzchniowych badanych zlewni

Przepuszczalność utworów strefy aeracji jest podstawowym czynnikiem warunkującym możliwości infiltracyjne i w zasadniczy sposób wpływa na zasilanie wodonośców wodami atmosferycznymi. Zdolności infiltracyjne utworów powierzchniowych zlewni zostały w niniejszej pracy ocenione na podstawie współczynnika odpływu powierzchniowego, zaproponowanego przez Czarnecką (1987), a opartego o wskaźnik nieprzepuszczalności Bołdakowa − N (Byczkowski 1996 za Wokrojem 1967). Skala jego zmienności zamyka się w granicach 10–90%. Informuje on jaka część wody, pochodzącej z opadu atmosferycznego, przedostanie się do rzeki na drodze odpływu bezpośredniego. Jak zauważa Jokiel (2002), dopełnieniem wartości wskaźnika jest przeciętna infiltracja efektywna. Propozycja Czarneckiej (1987) prowadzi do wydzielenia siedmiu grup gleb, wytworzonych na różnych rodzajach skał macierzystych, którym przyporządkowuje się odpowiednie wskaźniki, i które tworzą stosowne klasy przepuszczalności. W niniejszym rozdziale wskaźniki odnoszące się do utworów powierzchniowych, występujących w badanych zlewniach, zostały uśrednione, a liczbę grup (klas) zredukowano do czterech (tab. 3.8.2).

Jak sugerują Dobija i Dynowska (1975), prostym sposobem na określenie przybliżonej przepuszczalności utworów w zlewni jest ustalenie procentowego udziału pewnej grupy skał lub gleb w ogólnej powierzchni zlewni, a w następnym etapie obliczenie wskaźnika ważonego tym udziałem (tab. 3.8.3).

Obszarem o najlepszej przepuszczalności utworów powierzchniowych jest zlewnia Ciosenki, która obejmuje swym zasięgiem fragment piaszczysto-żwirowego sandru grotnicko-lućmierskiego. Wysoką wartość N zlewnia ta zawdzięcza także równinom eolicznym położonym w jej środkowej części. Jest to też jedyna

zlewnia, na obszarze której nie wystąpiła IV klasa wskaźnika nieprzepuszczalności *N* (tab. 3.8.3). Współczynniki filtracji i sposób ułożenia różnych osadów świadczą o dużych możliwościach retencyjnych zlewni (Jokiel, Maksymiuk 2000).

Tabela 3.8.2

Klasy wodoprzepuszczalności przyjęte dla utworów powierzchniowych badanych zlewni
Water permeability classes assumed for surface sediments of the researched catchments

Klasa	Wskaźnik nieprzepuszczalności (*N*)	Charakterystyka przepuszczalności	Litologia osadów
I	0,15	bardzo wysoka	piaski, piaski i żwiry wodnolodowcowe, rzeczne, piaski eoliczne, piaski eoliczne w wydmach, piaski i żwiry lodowcowe i martwego lodu
II	0,30	wysoka	piaski z mułkami, piaski rzeczne z mułkami lub humusowe, piaski eoliczne na mułkach zastoiskowych, piaski rozlewiskowo-jeziorne z domieszką żwirków i mułków, piaski i żwiry wodnolodowcowe z domieszką glin i mułków, piaski wodnolodowcowe miejscami na glinie zwałowej, piaski, żwiry i mułki rzeczne, piaski i mułki eluwialno-eoliczne, piaski, mułki, żwiry kemów
III	0,45	średnia	piaski eoliczne oraz piaski i żwiry lodowcowe oraz wodnolodowcowe na glinie zwałowej, torfy, namuły, gliny i piaski ze żwirami, mułki i piaski zagłębień bezodpływowych oraz na glinie zwałowej, skały węglanowe (kreda), obszar zwartej zabudowy
IV	0,60	niska	glina zwałowa, rezydua glin zwałowych na glinach, mułki zastoiskowe z iłami w spągu lub na glinach

Tabela 3.8.3

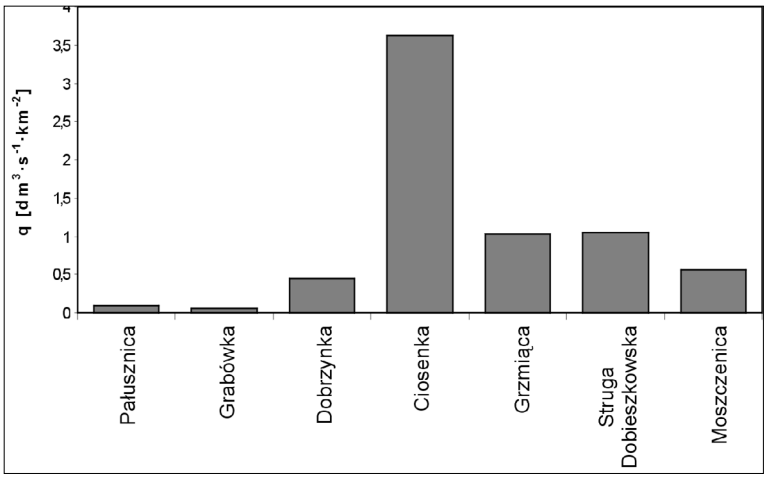
Udział osadów o danej klasie przepuszczalności w powierzchni zlewni oraz średni ważony wskaźnik nieprzepuszczalności (*N*)
Percentage of water permeability classes in a catchment area and the weighted average impermeability coefficient (*N*)

L.p.	Zlewnia	Klasa I [% pow.]	Klasa II [% pow.]	Klasa III [% pow.]	Klasa IV [% pow.]	*N*
1	Grabówka	31,8	16,9	1,4	49,9	0,404
2	Dobrzynka	15,2	36,8	14,6	33,4	0,399
3	Pałusznica	47,4	12,9	5,2	34,5	0,340
4	Moszczenica	38,4	32,7	3,5	25,4	0,324
5	Grzmiąca	57,7	10,8	3,3	28,2	0,303
6	Struga Dobieszkowska	62,5	10,0	2,9	24,6	0,284
7	Ciosenka	65,9	23,2	10,9	–	0,218

Utwory powierzchniowe zlewni górnej Grabówki charakteryzują się natomiast najgorszą przepuszczalnością (tab. 3.8.3). Duża część zlewni pokryta jest bowiem glinami zwałowymi, przy czym ich rozmieszczenie jest dość chaotyczne. Właśnie w tych utworach, wyerodowane są górne odcinki występujących tu dolin rzecznych. Stwarza to niekorzystne warunki dla drenażu głębiej krążących wód podmorenowych. W wielu miejscach warstwa gliny nie została tu przecięta lecz jedynie nacięta poprzez erozyjną działalność wody płynącej. Jedynie w zachodniej części zlewni, gdzie erozja wykształciła dolinę cieku na tyle głęboką, że rozcina ona warstwę glin, istnieją warunki do drenażu głębszych wód podziemnych. Przepuszczalność osadów powierzchniowych pozostałych zlewni mieści się w granicach zarysowanych przez Ciosenkę i Grabówkę.

Wydajność źródeł

Wydajność i liczebność źródeł w badanych zlewniach jest bardzo zróżnicowana. W zlewniach położonych na południowy zachód od Łodzi (Dobrzynka, Grabówka, Pałusznica) źródeł jest mało, a wydajność pojedynczych wypływów niewielka (tab. 3.8.4). Jednocześnie niski jest odpływ jednostkowy pochodzenia źródłowego (ryc. 3.8.2). Również udział wydatku źródeł w odpływie całkowitym i gruntowym jest niski (tab. 3.8.4). Największym wypływem jest tu źródło (limnokren) w zlewni Dobrzynki w okolicach Dylewa (3,2 $dm^3 \cdot s^{-1}$).



Ryc. 3.8.2. Jednostkowy odpływ wód źródlanych w badanych zlewniach
Fig. 3.8.2. Specific spring runoff in the researched catchments

Zlewnie położone na północny wschód od Łodzi charakteryzują się wyższym wskaźnikiem krenologicznym oraz większą wydajnością poszczególnych źródeł niż wymienione powyżej zlewnie „południowe". Pod względem sumarycznej wydajności źródeł i jej udziału w średnim odpływie całkowitym i podziemnym, wyraźnie wyodrębnia się obszar alimentacyjny Ciosenki (tab. 3.8.4; ryc. 3.8.2). Warto podkreślić, że z krenologicznego punktu widzenia, zlew-

Tabela 3.8.4

Podstawowe charakterystyki krenologiczne badanych zlewni
Basic spring characteristics of the researched catchments

L.p.	Zlewnia	Liczba źródeł/km^2	Suma wydatku źródeł $\Sigma Q_{źr}$ [dm^3·s^{-1}]	$\Sigma Q_{źr}/Q_g$ [%]	$\Sigma Q_{źr}/Q_c$ [%]
1	Pałusznica	0,06	5,1	7,9	4,5
2	Grabówka	0,06	2,4	2,4	1,5
3	Dobrzynka	0,17	2,4	29,4	20,3
4	Ciosenka	0,27	**54,5**	**64,8**	**55,9**
5	Grzmiąca	0,16	18,8	20,4	17,5
6	Struga Dobieszkowska	**1,17**	18,0	21,4	18,7
7	Moszczenica	0,44	16,8	24,3	18,8

$\Sigma Q_{źr}/Q_g$ – procentowy udział sumy wydatku źródeł w średnim odpływie gruntowym zlewni
$\Sigma Q_{źr}/Q_c$ – procentowy udział sumy wydatku źródeł w średnim odpływie całkowitym zlewni
Wytłuszczonym drukiem oznaczono wartości maksymalne w kolumnach.

$\Sigma Q_{źr}/Q_g$ – percentage share of total spring yield in a mean ground runoff from a catchment
$\Sigma Q_{źr}/Q_c$ – percentage share of total spring yield in a mean total runoff from a catchment
Bold type indicates maximum values in columns.

nia ta nie posiada w regionie łódzkim odpowiednika. Odpływ jednostkowy pochodzenia źródłowego wynosi tu powyżej 3,5 dm^3·s^{-1}·km^{-2} (ryc. 3.8.2). Jest to wartość porównywalna z uzyskiwanymi dla obszarów krasowych. Łączny wydatek trzech dużych źródlisk zlewni przekracza niekiedy 75% przepływu Ciosenki przy ujściu. Wydłużona nisza źródliskowa Rosanów I o wydajności ponad 40 dm^3·s^{-1} jest jednocześnie początkowym odcinkiem cieku. Źródlisko to jest uznawane za największy wypływ wód podziemnych z utworów czwartorzędowych na powierzchnię w regionie łódzkim (Moniewski 2004). Większą wydajność mają jedynie Niebieskie Źródła, lecz tam wody wypływają ze skał mezozoicznych.

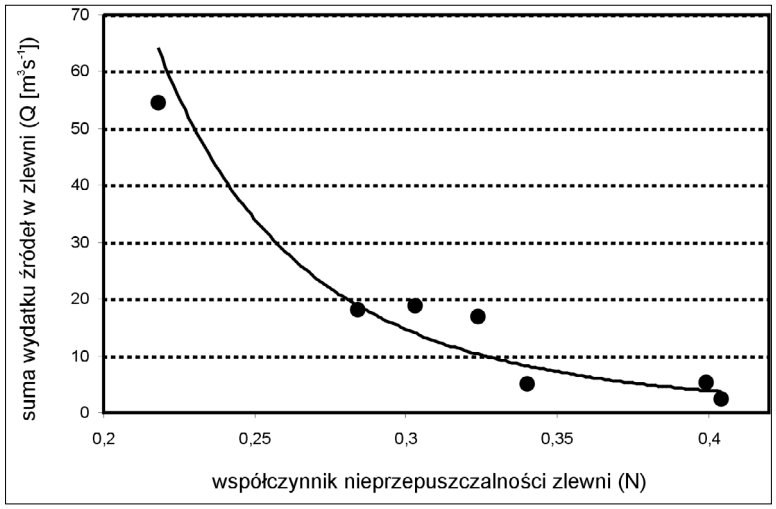
Zlewnia Strugi Dobieszkowskiej jest z kolei wyjątkowa pod względem wskaźnika krenologicznego (tab. 3.8.4). Znajduje się tu wiele wypływów przykorytowych o bardzo zróżnicowanej wydajności. Większa ich liczba występuje po prawej stronie cieku, co należy wiązać z dużo większym nachyleniem zboczy doliny po tej stronie i licznymi podcięciami erozyjnymi, nacinającymi horyzonty wodonośne.

W pozostałych zlewniach, udział wód źródlanych w odpływie rzecznym jest bardzo podobny (tab. 3.8.4). Odpływ jednostkowy pochodzenia źródłowego jest w tej grupie dość wysoki i zawiera się w przedziale ok. 0,5–1 dm^3·s^{-1}·km^{-2} (ryc. 3.8.2). Charakterystyki te wyraźnie też wskazują na odrębność zlewni położonych na północny wschód i południowy zachód od Łodzi.

Przepuszczalność utworów powierzchniowych a wydatek źródeł

W badaniu związku pomiędzy przepuszczalnością utworów powierzchniowych zlewni a wydajnością źródeł na ich obszarze posłużono się prostym współczynnikiem korelacji (*r*). Uwzględniono średni ważony wskaźnik nieprzepuszczalności w poszczególnych zlewniach (*N*) oraz sumę wydatku źródeł (*n*=7). Uzyskany wysoki współczynnik korelacji (r=-0,90), potwierdza siłę tej zależności w regionie łódzkim. Wynika z niej, że zlewnie, których utwory powierzchniowe nie sprzyjają infiltracji, nie dysponują dużymi zasobami wód podziemnych i, w konsekwencji, wydatek ich źródeł jest niski. Z kolei, zlewnie o korzystnych parametrach infiltracyjnych gromadzą w swych strukturach podziemnych więcej wody, co skutkuje dużą wydajnością całkowitą źródeł.

Zależność tę obrazuje krzywa regresji (ryc. 3.8.3), z której wynika, że największy gradient sumarycznego wydatku źródeł odpowiada przedziałowi *N* pomiędzy 0,2 i 0,3. Silna zależność wydatku źródłowego w strefie niskich wartości *N* jest najprawdopodobniej spowodowana tym, że zlewnie o niskim średnim ważonym wskaźniku nieprzepuszczalności osadów powierzchniowych, głównie zbudowane są z gruboziarnistych piasków i żwirów, co, jak podaje Kaniecki (1982), nie hamuje procesu infiltracji podczas tajania pokrywy śnieżnej zimą i wczesną wiosną. W okresach następujących bezpośrednio po dłuższym okresie ujemnych temperatur powietrza, grube piaski i żwiry zachowują swe zdolności infiltracyjne w przeciwieństwie do osadów drobnoziarnistych. Stąd można wnioskować, że występowanie powierzchniowych osadów o dobrej przepuszczalności oddziałuje w dwójnasób na zasobność podziemną zlewni. Wody opadowe nie tylko infiltrują szybciej, ale również dłużej. Powyższa teza wyjaśnia charakter



Ryc. 3.8.3. Krzywa regresji pomiędzy średnim ważonym współczynnikiem nieprzepuszczalności utworów powierzchniowych (*N)* a sumą wydatku źródeł zlewni badawczych
Fig. 3.8.3. Regression curve between medium weighted impermeability coefficient (*N)* and total springs yield of the researched catchments

liniowej zależności pomiędzy wydajnością źródeł i wskaźnikiem *N*, która przybrała charakter krzywej. Zależność ta również dobrze tłumaczy wyraźną różnicę pomiędzy wydatkiem źródeł zlewni w Ciosenki i w pozostałych zlewniach północnych, a także zróżnicowanie, jakie zaznaczyło się pomiędzy zlewniami położonymi na północny wschód i południowy zachód od Łodzi.

Potwierdzeniem tej tezy jest występowanie bardzo dużego przyrostu odpływu podziemnego ze zlewni Ciosenki, który pojawia się po dłuższych roztopach wiosennych. Wiosną 1996 r. odnotowano tam najwyższy w grupie badanych zlewni przyrost odpływu podziemnego (163,6%), podczas gdy w zlewni Moszczenicy, o najsłabszych parametrach przepuszczalności spośród zlewni krawędziowych, wartość ta wyniosła zaledwie 102,7% (Walisch 2003).

Osobną rolę w kształtowaniu wielkości odpływu wód źródlanych odgrywa budowa geologiczna zlewni, a przede wszystkim charakter i miąższość jej wodonośców, które decydują o zasobności wód podziemnych obszaru. Zlewnie położone na północny wschód od Łodzi, o miąższych wodonoścach, są predestynowane do gromadzenia większych zasobów wód podziemnych. Zlewnie położone na południowy zachód od Łodzi, z tych samych przyczyn, są pozbawione większych zasobów wód podziemnych. Również grube, piaszczysto-żwirowe wodonośce zlewni o dużej zasobności, nie mogłyby napełnić się wodą opadową w wystarczającym stopniu, gdyby nie jednoczesne występowanie w ich stropie łatwoprzepuszczalnych osadów powierzchniowych.

Innym elementem hydrogeologicznym, wpływającym korzystnie na istnienie większej liczby wypływów wód podziemnych, a tym samym zwiększającym udział odpływu źródłowego w całkowitym, jest bezpośredni kontakt aluwiów rzecznych z wodonoścami poziomu międzymorenowego. Stwierdzono to między innymi w dolinach zlewni położonych na północny wschód od Łodzi. W zlewniach położonych na południowy zachód od Łodzi, kontakt głębiej położonych wodonośców z aluwiami praktycznie nie występuje, co przekłada się na niski wskaźnik krenologiczny oraz niewielki wydatek źródeł.

Wnioski

Badane zlewnie regionu łódzkiego, o różnych parametrach fizyczno-geograficznych, odznaczają się dużym stopniem zróżnicowania charakterystyk krenologicznych. Zlewnie położone na północny wschód od Łodzi mają zdecydowanie wyższą sumaryczną wydajność źródeł, która zadecydowała o wyższych wartościach charakterystyk pochodnych (jednostkowy odpływ pochodzenia źródłowego, udział sumy wydatku źródeł w odpływie całkowitym i podziemnym). Zlewnie położone na południowy zachód od Łodzi, z wyjątkiem Dobrzynki, charakteryzują się niższymi wartościami wyżej wymienionych charakterystyk.

Zlewnię Dobrzynki można określić jako obszar, który pod pewnymi względami nawiązuje do zlewni północnych. Świadczy o tym choćby wyraźnie wyższy, niż w pozostałych zlewniach południowych, udział sumy wydatku źródeł w odpływie całkowitym.

W opinii autora, znaczącego wpływu różnicującego wydatek źródłowy zlewni w regionie łódzkim, należy upatrywać w przepuszczalności utworów powierzchniowych. Potwierdzeniem tej tezy jest uzyskanie wysokiego współczynnika korelacji pomiędzy średnim ważonym wskaźnikiem nieprzepuszczalności (*N*) oraz sumarycznym wydatkiem źródeł (r=-0,90).

Summary

Spring alimentation of small catchments in the Łódź region against a background of the surface rock permeability

In the hydrological years 1996−1997 seven small lowland catchments located in the Łódź region were investigated thoroughly. Four catchments located in the northern part of Łódź Hills (Grzmiąca, Moszczenica, Struda Dobieszkowska, Ciosenka) present diversified relief and their surface rocks are more permeable. The surface rocks of another catchments, located in the southern surroundings of the Łódź agglomeration (Grabówka, Dobrzynka, Pałusznica), are less permeable. During research the author measured river discharge in all catchments every two weeks. Besides all springs and sappings were localized and their yields were measured to be compared with catchment average total and underground river runoff. Research showed that northern catchments have more springs than the southern and percentage share of spring waters in a total catchment runoff is also higher in these areas. Maximum percentage of summed spring yield in a mean total river runoff was observed in the Ciosenka catchment (55,9%). Minimal one – in the Grabówka (1,5%). An assumption for such a high percentage differentiation between all the catchments is different permeability of the aeration sedimentation found in investigated catchments. Thus all the sediments were divided into 4 groups of different permeability and then it was calculated the average impermeable coefficient for each catchement. Then it was possible to calculate correlation coefficient between average impermeability coefficient and a total yield of springs which proved such relationship (r=-0,90). Besides the author observed that changeability of total spring yield is very high within a group of catchments with the range of impermeability coefficient between 0,2 and 0,3. If the average impermeability coefficient rises above 0,3 changeability of total spring yield in catchments becomes cleaely smaller.

Edmund Tomaszewski
Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej, Uniwersytet Łódzki
90-139 Łódź, ul. Narutowicza 88, etomasz@geo.uni.lodz.pl

3.9. Kilka uwag o zastosowaniu metody źródeł reprezentatywnych do oceny wielkości oceny zasilania podziemnego rzeki

Wprowadzenie

Ocena podziemnej składowej odpływu rzecznego jest zagadnieniem ważnym zarówno z poznawczego, jak i gospodarczego punktu widzenia. Od ponad stu lat toczy się dyskusja i ciągłe rozpoznawanie tego zjawiska, wciąż owocujące nowymi metodami i ich aplikacjami. Z problemem szacowania przeciętnych wartości odpływu podziemnego uporano się już dość dawno. Do kanonu hydrologii weszły metody bazujące na charakterystycznych przepływach niżówkowych proponowane przez Wundta (1953) czy Kille'go (1970). Jednak gdy idzie o dynamikę zasilania podziemnego i wykonywanie obliczeń dla interwałów dobowych czy miesięcznych, postęp metodyczny był dość powolny, co wynikało z dwóch podstawowych problemów. Przede wszystkim, kalibracja powstałych modeli odpływu podziemnego mogła odnosić się jedynie do wyników uzyskiwanych metodami wskaźnikowymi (izotopową, hydrochemiczną lub termometryczną), które z kolei mogły być stosowane jedynie w małych zlewniach i w ograniczonym zakresie, z uwagi na bardzo wysokie koszty. Jednak doświadczenia z tego rodzaju eksperymentów posłużyły do sformułowania pewnych uogólnień, które wykorzystywano jako założenia teoretyczne podziału hydrogramu przepływu w obrębie fali wezbraniowej – tzw. schematy genetyczne. Drugi problem wynikał z konieczności wykonywania subiektywnych zabiegów w trakcie realizacji procedur, co odbierało im atuty porównywalności i obiektywizmu – np. metoda Natermanna (1958) czy dobór określonego schematu genetycznego. Pojawiające się od połowy lat 90. numeryczne algorytmy separacji hydrogramu przepływu spowodowały jednak automatyzację procesu szacowania odpływu podziemnego. U ich podstaw legło poszukiwanie minimów lokalnych w ciągu przepływów dobowych (Sloto, Crouse 1996), czy też operacje na gradientach recesji przepływu w szeregach logarytmicznych (Tomaszewski 2001).

Już w latach 40. ubiegłego wieku zwrócono uwagę na to, że wydajność źródła, jako indykator stanu i dynamiki drenowanego zbiornika wód podziemnych, może posłużyć do oceny wielkości odpływu podziemnego. Prekursorem metody źródeł reprezentatywnych był Makarenko, zaś u jej podstaw legło założenie, że dynamika wydatku źródła może być estymatorem dynamiki zasilania podziemnego koryta rzecznego (Kiciński 1966). W Polsce metoda ta doczekała się kilku aplikacji, jednakże badaniami objęte były dotąd głównie zlewnie górskie (Pawlik-Dobrowolski 1976; Tarka 1995a). Wyniki uzyskane przez cytowanych autorów były na tyle obiecujące, że postanowiono zastosować tę metodę w odniesieniu do małej zlewni nizinnej.

Metoda opracowania

Zastosowanie metody źródeł reprezentatywnych wymaga danych wejściowych w postaci ciągu terminowych (najlepiej dobowych) wydajności źródła (lub źródeł) oraz szeregu dobowych wartości przepływu w przekroju zamykającym zlewnię. Sama metoda jest jednoznaczna i prosta w zastosowaniu. Składa się na nią kilka etapów:

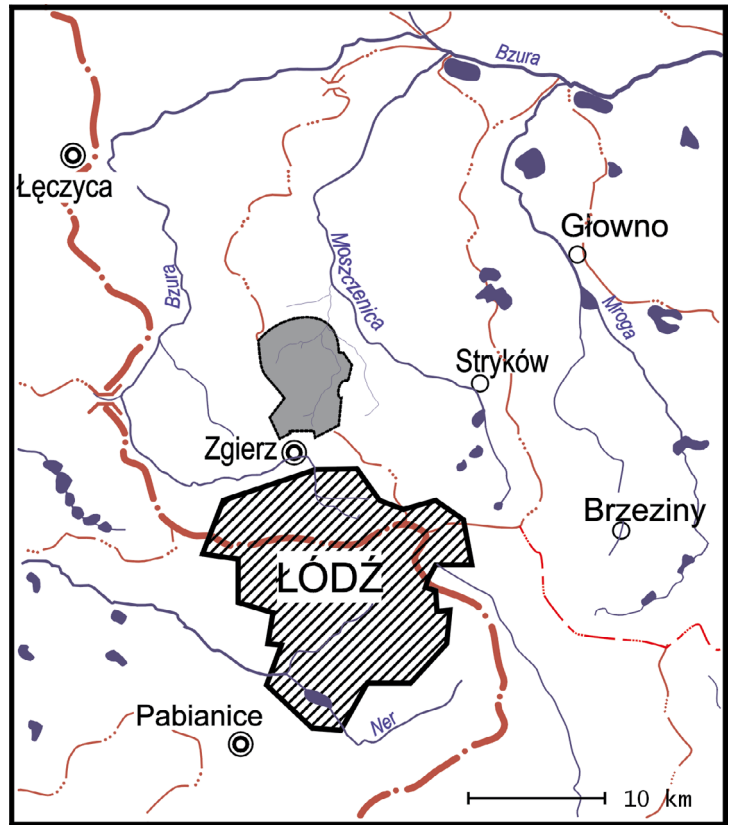
1. Wykreślenie hydrogramu przepływu dla przekroju zamykającego zlewnię w celu identyfikacji okresów niżówkowych, tzn. takich, w których cały przepływ korytowy pochodzi wyłącznie z drenażu wód podziemnych.
2. Przyporządkowanie wydatkowi źródła w terminie niżówkowym t odpowiadającej mu wartości przepływu rzecznego. Ustalenie związków korelacyjnych i wytypowanie na ich podstawie źródła (źródeł) reprezentatywnych.
3. Ustalenie zależności funkcyjnej pozwalającej na oszacowanie odpływu podziemnego poza okresami niżówkowymi.

Warto zwrócić uwagę, iż przyjęto tu nie tylko założenie o proporcjonalności zmian odpływu podziemnego i wydajności źródła reprezentatywnego. Ustalana zależność funkcyjna (etap 3) powstaje bowiem na bazie informacji uzyskiwanych przy niskim stopniu napełnienia zbiorników wód podziemnych i odpowiadających im przepływów niżówkowych. Zakłada się tym samym, że przy wysokim stanie ich napełnienia, zależność będzie miała identyczny charakter, a to stoi w sprzeczności z wiedzą na temat sposobu i tempa drenowania zbiorników wód podziemnych, które ma charakter nieliniowy – krzywe stanu retencji, wzorcowe krzywe wysychania. Zdaniem autora, powyższa właściwość metody może prowadzić do dużych niedokładności w ocenach odpływu podziemnego, zwłaszcza w końcowej fazie wezbrania, kiedy tempo recesji przepływu i wydatku źródła wykazują znaczne różnice.

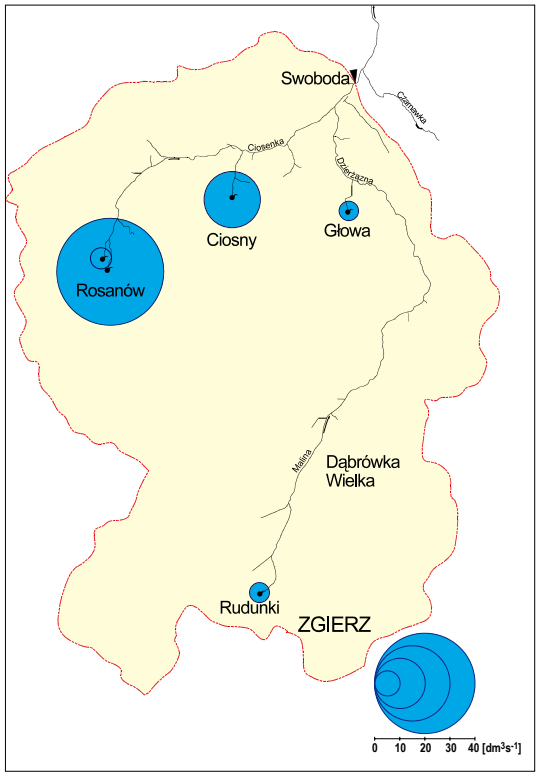
Materiał badawczy

Metodę źródeł reprezentatywnych zastosowano w zlewni Dzierżąznej po przekrój w Swobodzie, która jest obiektem badawczym Zakładu Hydrologii i Gospodarki Wodnej Uniwersytetu Łódzkiego. Prezentowana zlewnia ma niewielką powierzchnię (43 km^2) i jest położona kilka kilometrów na północ od aglomeracji łódzkiej (ryc. 3.9.1). Badany obszar charakteryzuje się dość urozmaiconą rzeźbą. Na południu obejmuje strefę krawędziową Wzniesień Łódzkich, która kilkoma stopniami morfologicznymi schodzi ku północy. Pod tą dość urozmaiconą rzeźbą kryją się, zaburzone glacitektonicznie, osady moren czołowych zlodowacenia warty – południowe tereny zlewni. W części północno-zachodniej dominują zaś fluwioglacjalne i eoliczne osady piaszczyste, wchodzące w skład sandru grotnicko-lućmierskiego.

Na badanym obszarze występuje pięć znaczących wypływów wód podziemnych (ryc. 3.9.2). Trzy spośród nich (dwa w Rosanowie i jeden w Ciosnach) drenują bardzo zasobny zbiornik wód podziemnych wytworzony w piaszczystych osadach sandru grotnicko-lućmierskiego. Należą one jednocześnie do najbardziej wydajnych wypływów w zlewni i w całej środkowej Polsce. Źródło w Rudunkach, dające początek rzece głównej, zasilane jest z piaszczysto-żwirowych utworów morenowych strefy krawędziowej. Natomiast wypływ w Głowie drenuje zarówno wody z piaszczysto-mułkowych osadów równiny zastoiskowo-jeziornej, jak też jest tranzytowo zasilany wspomnianymi wcześniej wodami sandrowymi.

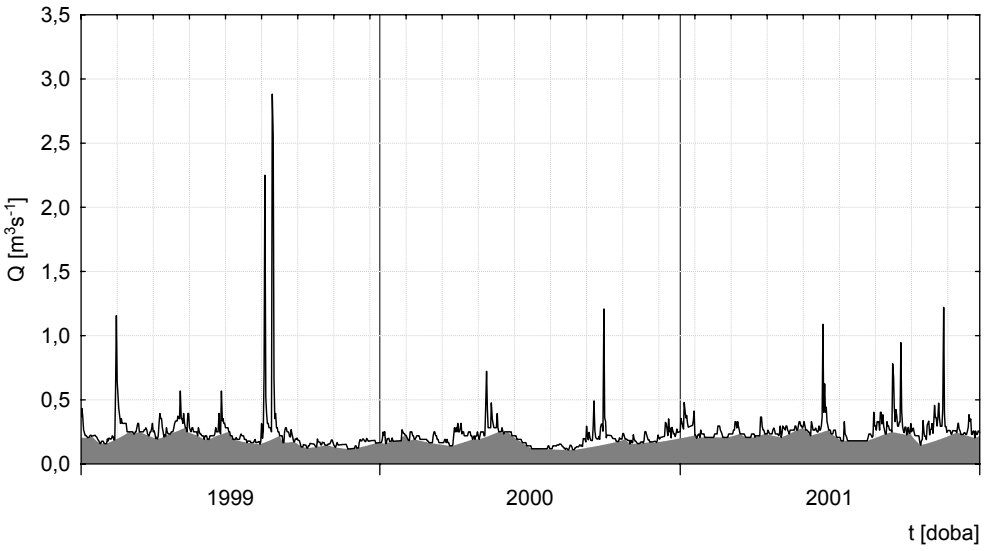


Ryc. 3.9.1. Położenie obszaru badań
Fig. 3.9.1. Position of studied area



Uwzględniony w opracowaniu materiał hydrometryczny obejmował trzy lata hydrologiczne (1999–2001). Złożyły się na niego serie terminowych, dwutygodniowych pomiarów wydajności pięciu wymienionych wcześniej źródeł oraz seria dobowych wartości przepływu w przekroju Swoboda. Dokonano również oszacowania dobowych wielkości przepływu pochodzenia podziemnego przy użyciu algorytmu ET (Tomaszewski 2001), dokonującego automatycznej separacji hydrogramu przepływu (ryc. 3.9.3).

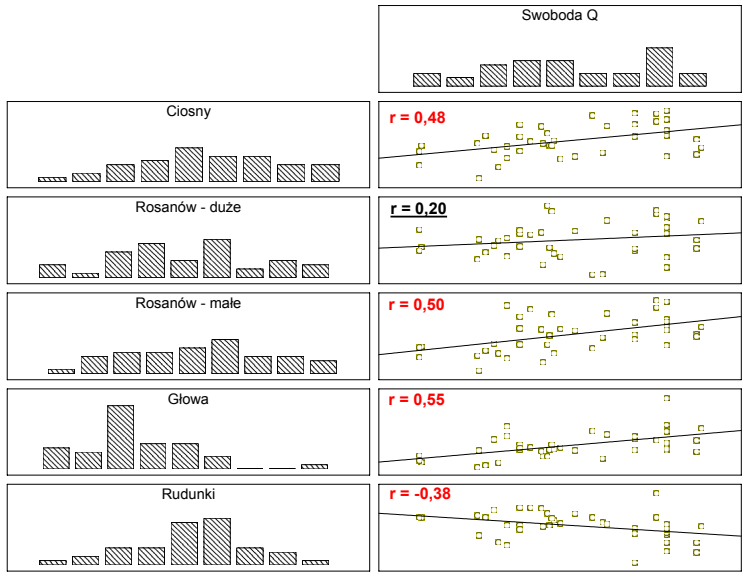
Ryc. 3.9.2. Położenie i przeciętna wydajność badanych źródeł
Fig. 3.9.2. Position and average yield of studied springs



Ryc. 3.9.3. Hydrogram przepływu Dzierżąznej w przekroju Swoboda (1999–2001) Odpływ podziemny wyseparowany algorytmem ET (Tomaszewski 2001)
Fig. 3.9.3. The flow hydrograph of the Dzierżązna river in Swoboda profile (1999–2001) The groundwater runoff separated on the basis of the ET algorithm (Tomaszewski 2001)

Wyniki

Zgodnie z założeniami metody źródeł reprezentatywnych, wyselekcjonowano na hydrogramie przepływu okresy niżówkowe. Dobowym wartościom przepływu z tych okresów przypisano odpowiadające im wydajności źródeł i zbadano siłę związków korelacyjnych (ryc. 3.9.4). Jedynie wydajność dużego źródła w Rosanowie (Rosanów I) nie wykazała istotnej statystycznie korelacji z przepływem niżówkowym w Swobodzie (na poziomie p=0,05). Jest to o tyle ciekawe, że oczekiwano, iż w małej zlewni nizinnej, pozbawionej wód dalekiego krążenia, wydatek największego źródła będzie wykazywał najsilniejszy związek z odpływem pochodzenia podziemnego. Brak takiej zależności sugeruje, że proces formowania drenażu korytowego jest bardzo złożony i stanowi wypadkową reżimów kilku zbiorników strefy aktywnej wymiany, z których najzasobniejsze tworzą tzw. odpływ bazowy. Również we wszystkich pozostałych przypadkach, siłę związku korelacyjnego można ocenić jako przeciętną. Zatem z punktu widzenia precyzji szacowania odpływu podziemnego metoda źródeł reprezentatywnych daje wyniki niezadowalające.



Ryc. 3.9.4. Związki korelacyjne wydatków źródeł z odpowiadającymi im przepływami niżówkowymi w Swobodzie
r – współczynnik korelacji, podkreślono współczynnik nieistotny na poziomie 0,05; histogramy obrazują rozkład częstości wydatku źródeł oraz przepływów niżówkowych, uwzględnionych w związkach korelacyjnych
Fig. 3.9.4. Correlations between spring yields and corresponding low flows in Swoboda
r – correlation coefficient, insignificant coefficient on the level 0,05 is underlined; histograms depict the frequency distribution of springs yield and low flows in investigated correlational relations

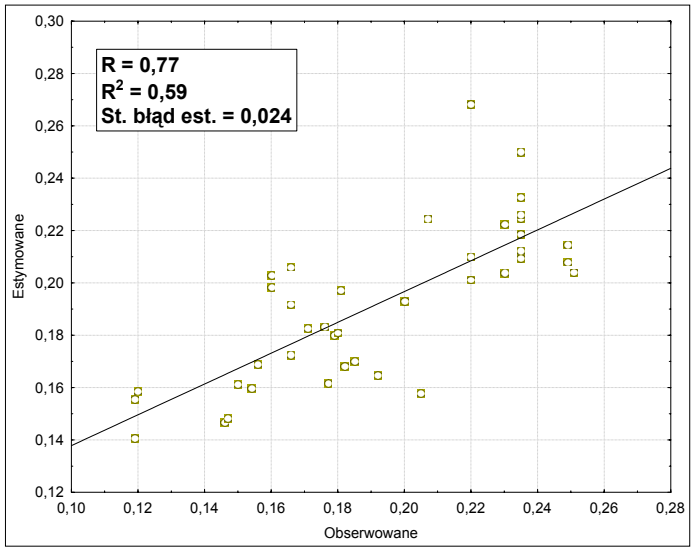
Wyniki analizy korelacji uniemożliwiły wytypowanie źródeł reprezentatywnych. W dalszych badaniach przyjęto zatem założenie, że dynamika odpływu podziemnego, jako wypadkowa reżimu wszystkich zbiorników wód podziemnych w zlewni, jest funkcją wydajności wszystkich badanych źródeł. Można tego dokonać poprzez „ręczne" dobranie najlepszej kombinacji źródeł (Pawlik-Dobrowolski 1976; Tarka 1995a) lub zastosowanie regresji wielokrotnej, waloryzującej poszczególne zmienne pod kątem ładunku informacji wnoszonych do powstającej funkcji. W wyniku wdrożenia tej ostatniej procedury, najlepsze dopasowanie uzyskano dla równania:

$$Q_p = 0{,}0397 + 0{,}0057 \cdot Z_C + 0{,}0012 \cdot Z_R + 0{,}0109 \cdot Z_{RII} + 0{,}0050 \cdot Z_G - 0{,}0187 \quad (12)$$

Q_p – estymowany odpływ podziemny w profilu Swoboda [$m^3 \cdot s^{-1}$]; Z – wydajność poszczególnych źródeł [$dm^3 \cdot s^{-1}$]: C – Ciosny, RI – Rosanów I (duże), RII – Rosanów II (małe), G – Głowa, Rud – Rudunki

Q_p – estimated groundwater runoff In the Swoboda profile [$m^3 \cdot s^{-1}$]; Z – yield of the particular springs [$dm^3 \cdot s^{-1}$]

Uzyskane dopasowanie funkcji regresji jest wyraźnie lepsze od uzyskanych dla pojedynczych źródeł i przepływów niżówkowych (ryc. 3.9.5). Mimo, że współczynnik korelacji przekroczył 0,7 i prawie 60% zmiennej zależnej jest wyjaśniane przez zmienne niezależne, to standardowy błąd oszacowania kształtuje się na poziomie 24 $dm^3 \cdot s^{-1}$, co stanowi ok. 10% przeciętnego przepływu w Swobodzie. Błąd ten jest zatem stosunkowo duży, jeśli wziąć pod uwagę inne metody szacowania odpływu podziemnego.



Ryc. 3.9.5. Zależność pomiędzy wartościami obserwowanymi i przewidywanymi w ustalonym modelu regresji wielokrotnej [$m^3 \cdot s^{-1}$]
R – współczynnik korelacji, R^2 – współczynnik determinacji, St. błąd est. – standardowy błąd estymacji
Fig. 3.9.5. Relationship between observed and estimated values in set model of multiple regression [$m^3 \cdot s^{-1}$]
R – correlation coefficient, R^2 – determination coefficient, St. błąd est. – standard error of estimation

Warto jednak w tym miejscu zwrócić uwagę na jeszcze jedną informację płynącą z zastosowanej procedury regresji wielokrotnej. Otóż, największy ładunek informacji do równania regresji, którego estymatorem jest wielkość statystyki F, wniosło źródło w Rudunkach (tab. 3.9.1). Wypływ ten położony jest najdalej od profilu wodowskazowego *(sic!)* i drenuje stosunkowo płytki poziom wodonośny wytworzony w morenowych osadach piaszczysto-żwirowych. Drugim obiektem, istotnie poprawiającym precyzję modelu jest źródło w Ciosnach, drenujące marginalną strefę sandru grotnicko-lućmierskiego. Przesłanki te upoważniają do postawienia tezy, iż w badanej zlewni zasilanie podziemne ma charakter „dwupoziomowy". Składa się na nie stabilne, długookresowe zasilanie wodami z sandru grotnicko-lućmierskiego oraz krótkookresowa i bardziej zmienna alimentacja z płytkich poziomów o charakterze wierzchówkowym.

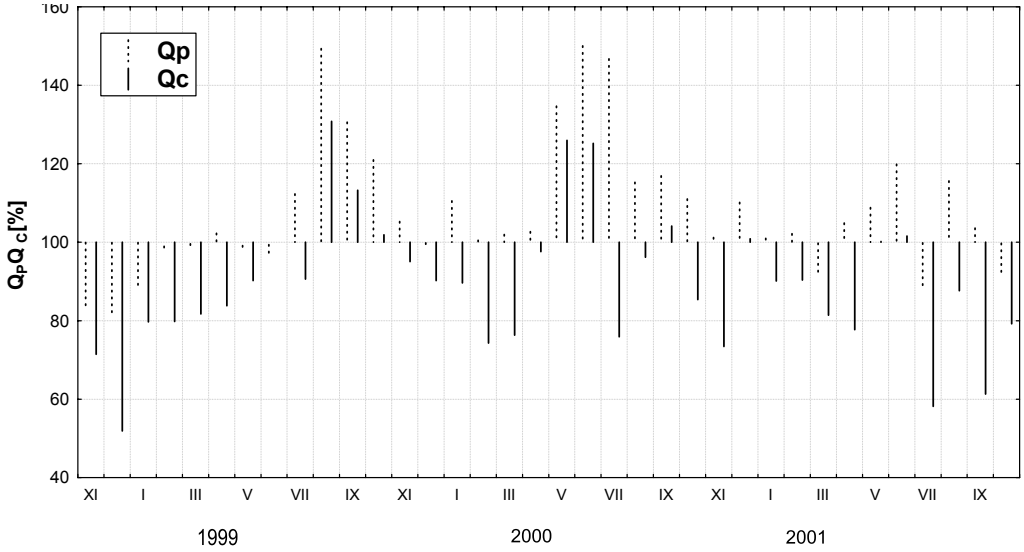
Tabela 3.9.1

Statystyki testowe (F) składników uzyskanego równania regresji wielokrotnej
Test statistics (F) of the components of set multiple regression equation

	Ciosny	Rosanów I	Rosanów II	Głowa	Rudunki	Wyraz wolny
Statystyka F F statistic	7,51270	1,06177	2,97511	1,66662	14,04519	0,41362
Poziom istotności Level of significance	0,00969	0,31009	0,09364	0,20542	0,00066	0,52445

W oparciu o równanie (12) dokonano estymacji odpływu podziemnego. Uzyskane wyniki przeliczono na średnie miesięczne. Dla porównania obliczono również średnie miesięczne przepływy całkowite i podziemne (algorytm ET). Uzyskane w ten sposób 3 wektory danych posłużyły do oszacowania miesięcznych odchyleń estymowanego odpływu podziemnego od odpływu całkowitego i podziemnego (ET) – ryc. 3.9.6.

Już na pierwszy rzut oka widać, że estymowany równaniem (12) odpływ podziemny jest zazwyczaj wyższy niż ten, który został wyseparowany z hydrogramu przepływu. Największe różnice dotyczą miesięcy letnich. Warto jednak zwrócić uwagę, iż w miesiącach tych, wyestymowany odpływ podziemny bywa również wyższy od całkowitego, a różnice mogą dochodzić nawet do 50% *(sic!)*. Z podobnymi zresztą problemami borykali się również cytowani wcześniej autorzy, przy czym na poziomie średnich miesięcznych problem „zawyżania" zanikał (Tarka 1995a). Zdaniem autora, u podstaw tych rozbieżności leży błędne założenie o liniowej zależności odpływu podziemnego i wydajności źródła w całym przedziale stanów retencji wód podziemnych. Model taki miałby sens



Ryc. 3.9.6. Odchylenia miesięcznych wartości odpływu podziemnego obliczonych równaniem (12) od odpływu podziemnego obliczonego algorytmem ET (Qp) i odpływu całkowitego (Qc)
Fig. 3.9.6. Deviations of groundwater runoff monthly values estimated by equation (12) from groundwater runoff estimated by the ET algorithm (Qp) and total runoff (Qc)

jedynie wtedy, gdyby drenowany zbiornik posiadał kształt figury geometrycznej o ścianach prostopadłych do podstawy (np. walca czy prostopadłościanu) i idealnie jednorodne warunki geofiltracyjne.

Wnioski

Wyniki uzyskane w niniejszym opracowaniu oraz wnioski zaczerpnięte z literatury skłaniają do stwierdzenia, że metoda źródeł reprezentatywnych może odzwierciedlać wielkość zasilania podziemnego rzek jedynie w małych zlewniach o jednorodnej i płytkiej strefie hydrologicznie czynnej, gdzie reakcja źródeł na zasilanie jest stosunkowo szybka. W warunkach polskich można ją zatem stosować do niektórych, małych zlewni górskich, w których odpływ podziemny formuje się jedynie w płytkich pokrywach zwietrzelinowych. Założenia i właściwości metody sprawiają, że przy bardziej złożonym lub opóźnionym zasilaniu podziemnym, błędy obliczeniowe znacznie przekraczają dopuszczalny poziom.

Istniejące obecnie metody szacowania odpływu podziemnego, bazujące na dobowych wartościach przepływu rzecznego są na tyle dokładne, iż nie ma chyba potrzeby modyfikowania i udoskonalania procedury zaproponowanej przez Makarenkę zwłaszcza, że coraz rzadziej spotyka się źródła obserwowane codziennie. Niemniej sama idea wykorzystania reżimu źródeł wydaje się być godna uwagi, gdyż

może być bardzo pomocna przy dekompozycji odpływu podziemnego i wskazywaniu na te cechy zbiorników wód podziemnych, które ów odpływ determinują.

Summary

A few remarks about application of the representative springs method

Estimation of groundwater runoff component is a very important question from cognitional and economic aspect. For over 100 years the discussion has been continuing and new methods still appeared. It is worth noticing that in 40s of the last century, it was remarked that spring as an indicator of drained groundwater reservoir dynamics can present a significant influence on groundwater runoff estimation. Studies initiated by Makarenko resulted in many applications, especially in mountainous areas, where spot drainage is widespread and significant.

The chapter presents application of the representative springs method in a small lowland catchment, located near a big agglomeration (Fig. 3.9.1). The input data were systematic observations of springs yield (Fig. 3.9.2) and daily discharge series of the Dzierżązna river in Swoboda profile in the period 1999–2001 (Fig. 3.9.3). There were investigated correlations between springs yield and discharge during low flow periods (Fig. 3.9.4). Because of the low strength of simple correlation relationships, the multiple regression model was applied (Equation 1). The results were not as accurate as expected (Fig. 3.9.5). Moreover, estimated groundwater runoff was very often much higher then the total one (Fig. 3.9.6). Analyses allowed to indicate two types of groundwater reservoirs regime which consist of short- and long-term groundwater runoff (Tab. 3.9.1). In conclusion it was noticed that the main problem of representative springs method application consists in taking assumes that linear relationship between spring yield and groundwater runoff exists in the same form when a level of groundwater reservoir fills is low and high.

Sebastian Buczyński
Zakład Hydrogeologii Podstawowej, Uniwersytet Wrocławski,
50-204 Wrocław, pl. M. Borna 9, sebu@ing.uni.wroc.pl

3.10. Problemy z ustaleniem przebiegu głównego cieku (na przykładzie Nysy Kłodzkiej)

Wstęp

Źródła i wycieki, jako samoczynne wypływy wody podziemnej na powierzchnię terenu, dostarczają wielu informacji o kształtującym je środowisku geologicznym. Ponadto, jako punktowe obiekty hydrograficzne, wypływy wody podziemnej stają się początkiem sieci rzecznej. Punkty te, w dużej mierze, mają wpływ na strukturę sieci rzecznej, bowiem określenie głównego źródła rzeki jest istotne przy obliczaniu jej parametrów morfometrycznych: długości, rozwinięcia i krętości rzeki oraz spadku cieku i jego doliny. W przypadku analizowania dużych sieci rzecznych, o znacznej długości, wybór źródła głównego cieku w niewielkim tylko stopniu wpłynie na zmianę parametrów cieku. Natomiast, w przypadku badania krótkich potoków, małych zlewni lub biegu górnych fragmentów większych rzek, z rozbudowanym układem sieci rzecznej, ustalenie źródła głównego ma istotne znaczenie. Wytypowanie i oznaczenie głównego źródła w terenie, jak również jego promocja w literaturze krajoznawczej, mogą przyczynić się do zwiększenia atrakcyjności terenu i wzrostu lokalnego ruchu turystycznego.

Pomimo czysto akademickiej, pozbawionej praktycznego znaczenia, dyskusji na temat przebiegu głównego cieku, ustalenie głównego źródła rzeki jest często bardzo ważne. Przykładem może tu być sprawa źródeł Amazonki, budząca w ostatnim stuleciu ogromne emocje. Kolejno organizowane wyprawy i ekspedycje naukowe − 1927, 1971, 1985, 1996, a w szczególności ostatnia, zorganizowana przez National Geographic Society w 2000 roku, dowiodły, że to Amazonka jest najdłuższą rzeką świata (7100 km), a nie jak do tej pory sądzono − Nil (6671 km) (Badowski 1997; Baścik, Chełmicki 2002).

Wytypowanie głównego źródła nastręcza jednak trudności nie tylko w przypadku wielkich, egzotycznych i trudnych do zbadania rzek. Na problemy w ustaleniu przebiegu głównego cieku napotkamy także w Polsce, podczas badania rzek. Przykładem jest Nysa Kłodzka.

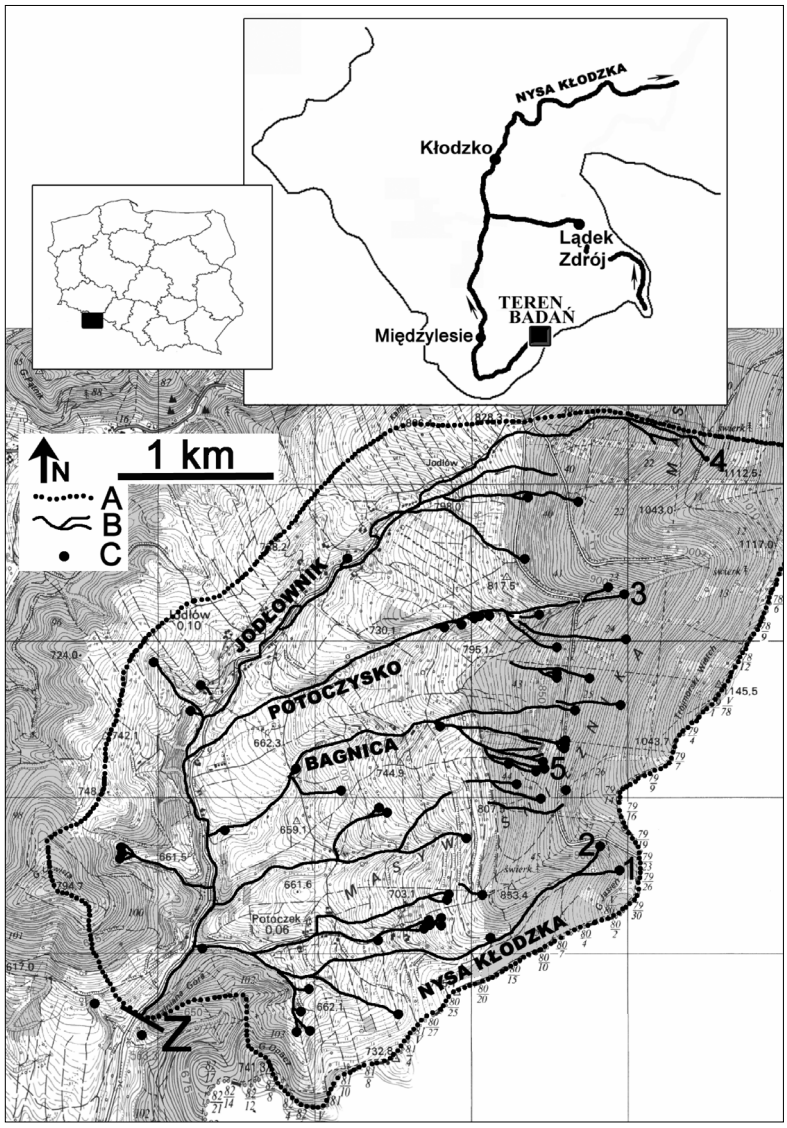
Impulsem do poruszenia tego istotnego problemu były własne obserwacje terenowe prowadzone w czerwcu 2000 roku w źródłowym odcinku Nysy Kłodzkiej (południowo-zachodni skłon Masywu Śnieżnika). W trakcie badań terenowych wykonano szczegółowe kartowanie hydrogeologiczne na obszarze 13,1 km^2. Dla zinwentaryzowanych 40 źródeł i 25 wycieków sporządzono mapę dokumentacyjną (ryc. 3.10.1) oraz wykonano pomiary ich wydajności (Buczyński 2005). Już w trakcie wstępnych prac kameralnych pojawił się jednak dylemat prawidłowej identyfikacji głównego źródła Nysy Kłodzkiej. Zróżnicowane kryteria, którymi można posługiwać się przy określaniu głównego cieku i jego źródła, umożliwiły przyjęcie różnych koncepcji rozwiązania tego problemu.

Cechy fizyczno-geograficzne obszaru badań

Nysa Kłodzka − lewobrzeżny dopływ Odry, jest ciekiem drugiego rzędu. Powierzchnia jej dorzecza obejmuje 4565,7 km^2, a długość, podawana w Podziale hydrograficznym Polski (1983), wynosi 181,7 km. Wartości te klasyfikują Nysę Kłodzką w grupie rzek małych (Bajkiewicz–Grabowska, Mikulski 1999). W obrębie jej dorzecza wyróżnia się trzy zasadnicze jednostki fizyczno-geograficzne: Sudety, Przedgórze Sudeckie i Nizinę Śląską. Badana zlewnia górnej Nysy jest położona w południowo-wschodniej części Kotliny Kłodzkiej, na pograniczu polsko-czeskim, w obrębie Śnieżnickiego Parku Krajobrazowego. Wschodni odcinek działu wodnego tej zlewni przebiega grzbietem łączącym górę Opacz, Jasień, Trójmorski Wierch (czes. Klepač) i Puchacz. Zachodnia granica biegnie grzbietem łączącym górę Kamienny Garb z górą Urwistą, północną zaś stanowił wododział między Nysą Kłodzką a potokiem Goworówki. Punkt zamykający badaną zlewnię (profil Z) przyjęto na geologicznej granicy pomiędzy krystalicznym Masywem Śnieżnika, a górnokredowym rowem Nysy Kłodzkiej (ryc. 3.10.1).

Średnia roczna temperatura powietrza w rejonie Masywu Śnieżnika wynosi około 4−5ºC, przy czym, najcieplejszym miesiącem jest lipiec, a najchłodniejszym − styczeń. Opady atmosferyczne należą do najwyższych w Polsce, osiągając przeciętną roczną sumę około 1300 mm (Atlas Śląska … 1997).

Na obszarze tym, zbudowanym ze skał metamorficznych, wyróżnić można szereg różnowiekowych formacji i kompleksów skalnych proterozoiku. Dominującymi wydzieleniami litostratygraficznymi jest kompleks ortognejsów śnieżnickich i kompleks para- i ortognejsów oraz migmatytów gierałtowskich. Cały obszar jest zawansowany tektonicznie poprzez nasunięcia i uskoki związane z rożnymi fazami tektonicznymi (Don, Opletal 1997; Don i in. 2003).



Ryc. 3.10.1. Mapa dokumentacyjna obszaru badań z lokalizacją źródeł.
A − dział wodny zlewni górnej Nysy Kłodzkiej, B − cieki, C − wypływy wód podziemnych
Fig. 3.10.1. Map documenting the studied area with springs marked.
A − watershed of the upper Nysa Kłodzka catchment, B − streams, C − groundwater outflows

Wybór źródła a parametry zlewni

Zachodnia część Masywu Śnieżnika jest obszarem wyjątkowym pod względem hydrograficznym. Schodzą się tu bowiem, na szczycie Trójmorskiego Wierchu, działy wodne zlewisk trzech mórz. Spływające stąd potoki zasilają odpowiednio:

– ku zachodowi − Nysę Kłodzką (dorzecze Odry, zlewisko Morza Bałtyckiego);
– ku południowemu zachodowi − Orlicę (dorzecze Łaby, zlewisko Morza Północnego);
– ku południowemu wschodowi − Morawę i Krupę (dorzecze Dunaju, zlewisko Morza Czarnego).

Dzięki tej hydrograficznej ciekawostce Trójmorski Wierch stanowi sporą atrakcję turystyczną. Źródła Orlicy, Morawy i Krupý zlokalizowane są na terenie Czech. W granicach Polski znajduje się jedynie źródło Nysy Kłodzkiej, nie jest jednak jasne, które − w świetle różnych kryteriów − źródło uznać za główne i który z cieków nazwać Nysą Kłodzką.

Jedna z rzek w obrębie dorzecza uchodzi zawsze za główną. Mianem *rzeki głównej* określa się ciek (Bajkiewicz-Grabowska i in. 1993; Tarka 1999; Baścik, Chełmicki 2002):

A. najdłuższy;
B. prowadzący najwięcej wody;
C. którego źródło położone jest najwyżej;
D. którego kierunek biegu wskazuje, że jest rzeką główną;
E. o największej powierzchni dorzecza.

Nie wszystkie z wymienionych kryteriów są brane pod uwagę; często ze względu na ich zmienność w czasie. Wydajność źródeł zmienia się w dość szerokim przedziale, niektóre z nich mają charakter wypływów okresowych lub „wędrujących". Jak już wspomniano, cechy te nabierają szczególnego znaczenia w przypadku krótkich cieków i praktycznie dyskwalifikują kryteria wymienione w punktach A, B i C, jako atrybuty głównego cieku w zlewni Nysy Kłodzkiej.

W hydrografii dorzeczy wielu rzek na świecie spotyka się liczne niekonsekwencje w stosowaniu powyższych reguł. Na przykład: rzeka Missouri jest dłuższa od Missisipi, Oka jest dłuższa od Wołgi, Bug jest dłuższy od Wisły, a Inn od Dunaju. Wełtawa nie tylko jest dłuższa i ma większy przepływ niż Łaba, ale również kierunek jej biegu wskazuje, że powinna być uznawana za rzekę główną. Ponadto, niejasne jest położenie źródeł niektórych ważnych rzek europejskich np: Donu, Dniepru i Wołgi. Ostatecznie, w wielu przypadkach o tym, którą rzekę uznaje się za główną, a którą za jej dopływ, decyduje kolejny czynnik – tradycja (Dynowska, Tlałka 1982; Bajkiewicz-Grabowska 1997; Baścik, Chełmicki 2002).

W przypadku badanego górnego biegu rzeki Nysy Kłodzkiej należy rozpatrzyć kilka wariantów przebiegu głównego cieku. Pod uwagę wzięto potoki odpowiadające powyższym cechom od A do E, zasilane następującymi źródłami lub wyciekami (ryc. 3.10.1; tab. 3.10.1):

– wypływy 1 i 2 – źródła zaznaczone na starych niemieckich mapach. Przy źródle 1 PTTK ustawiło ostatnio tablice informującą, że jest to źródło Nysy Kłodzkiej. Źródło 1 uznane zostało za główne przez autorów Atlasu Hydrologicznego Polski (1987) i oznaczone na mapie turystycznej „Kotlina Kłodzka" w skali 1:100 000 (1999);
– wypływ 3 – źródło oznaczone za główne na mapach topograficznych Polski (w skalach 1:10 000 i 1:25 000). Ponadto, wypływający z niego potok prowadzi najwięcej wody;
– wypływ 4 – źródło to jest położone najwyżej (1018 m n.p.m.) i zasila najdłuższy z cieków;
– wypływ 5 – najbardziej wydajny wypływ w zlewni (wyciek Q=3,15 $dm^3 \cdot s^{-1}$).

Wnioski płynące z przeglądu szeregu map topograficznych i turystycznych Polski oraz Podziału Hydrograficznego Polski (1980), pozostawiają na badanym terenie dowolność w przyjęciu źródła głównego.

Tabela 3.10.1

Długość źródłowego odcinka Nysy Kłodzkiej w funkcji lokalizacji źródła
Length of the spring stretch of the Nysa Kłodzka river as a function of the main spring location

Nr źródła	Wysokość położenia źródła [m n.p.m.]	Wydajność źródła [$dm^3 \cdot s^{-1}$]	Długość cieku (po profil Z) [m]
1	920	2,3	3700
2	918	2,5	3700
3	880	1,5	5100
4	1018	0,19	6500
5	890	3,15	4200

Układ sieci rzecznej badanego odcinka Nysy Kłodzkiej można określić jako dendryczny lub widlasty (ryc. 3.10.1). Suma długości cieków stałych w wyznaczonej zlewni wynosi 38,1 km. W zależności od wyboru cieku głównego zlewnię tę można zaliczyć do asymetrycznych (źródło 4, 2, 1) lub symetrycznych (źródło 3, 5).

Przyjmowanie różnych wariantów w traktowaniu wytypowanych źródeł jako źródła głównego górnej Nysy Kłodzkiej w znaczący sposób zmienia niektóre parametry morfometryczne jej zlewni. Otrzymane w ten sposób wartości były rozbieżne nawet o ok. 50% (tab. 3.10.2).

Tabela 3.10.2

Parametry zlewni górnej Nysy Kłodzkiej w zależności od przyjętej lokalizacji źródła głównego

Parameters of the upper Nysa Kłodzka catchment depending on the choice of the main spring

Niezależne od wyboru źródła							
Powierzchnia zlewni	rzutowana rzeczywista	km^2 km^2	12,9 13,1				
Obwód zlewni Długość zlewni Szerokość zlewni		km km km	16,4 5,9 2,18				
Suma długości cieków Gęstość sieci rzecznej		km $km \cdot km^{-2}$	38,1 2,95				
Wskaźnik formy Wskaźnik kolistości Wskaźnik zwartości		- - -	0,369 0,6 1,2				
Wysokość	maksymalna minimalna	m n.p.m. m n.p.m.	1175 564				
Deniwelacja		m	611				
Zależne od wyboru źródła			**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Długość zlewni Szerokość zlewni		km km	3,85 3,35	4,0 3,22	6,2 2,08	7,2 1,79	4,8 2,6
Spadek doliny		‰ º	150 9,4	150 9,4	90 6,2	80 5,3	120 8,0
Spadek cieku		‰ º	96 6,1	95 6,0	61 3,9	69 4,4	77 4,9
Rozwinięcie cieku		-	1,12	1,12	1,18	1,25	1,31

Długość zlewni definiowana jest w dwojaki sposób. Jeśli ją traktować jako największą odległość w linii prostej między ujściem, a najdalszym punktem na dziale wodnym, długość analizowanej zlewni wynosi 5,9 km. Drugim sposobem określania maksymalnej długości zlewni jest jej pomiar wzdłuż głównego cieku − od ujścia do działu wodnego w przedłużeniu górnego biegu rzeki. W tym przypadku wynik pomiaru w oczywisty sposób zależy od przyjęcia źródła głównego. Obliczona tą metodą długość zlewni górnej Nysy Kłodzkiej, dla różnie przyjętego odcinka źródłowego, waha się od 3,85 km (źródło 1) do 7,2 km (źródło 4).

Średnia szerokość zlewni, obliczana jako iloraz jej powierzchni i długości, wynosi odpowiednio 3,35 i 1,79 km.

Spadek badanego cieku mieści się w granicach od 61 (źródło 3) do 96‰ (źródło 1). Przeciętny kąt nachylenia dna doliny rzecznej wynosi tu więc 3,9−6,1º, natomiast kąty nachylenia stoków Puchacza i Trójmorskiego Wierchu są lokalnie znacznie większe i dochodzą do 20−25º. Wartości te pozwalają zaliczyć badaną zlewnię do górskich.

Tak duże nachylenia zboczy sprzyjają szybkiemu spływowi powierzchniowemu, zsuwom zwietrzeliny i powstawaniu osuwisk. Świadczyć o tym może istnienie nieczynnego osuwiska o powierzchni 1,5 ha, znajdującego się na zachodnim zboczu Kopalnianej Góry. Osuwisko to powstało w 1936 roku w okresie wiosennych roztopów, a zsuwanie się masy skalnej miało charakter gwałtowny (Borowik 1976).

Wnioski

Każdy z przedstawionych pięciu wypływów w różnym stopniu spełnia warunki stawiane źródłom rozpoczynającym ciek główny. Najwięcej argumentów dostarcza źródło 4, które jest położone najwyżej, rozpoczyna najdłuższy potok, a kierunek jego biegu wskazuje, że powinien on uchodzić za główny. Z kolei, źródło 3 jest przedstawione jako źródło główne Nysy Kłodzkiej na mapach topograficznych, a wypływający z niego potok zazwyczaj prowadzi najwięcej wody. Natomiast wyciek 5 jest najbardziej wydajnym wypływem.

Mimo braku przesłanek hydrograficznych, za początek Nysy Kłodzkiej można przyjmować źródło 1 lub 2. Obydwa wypływy charakteryzują się małą zmiennością wydatku i zaznaczają się w terenie wyraźną niszą źródliskową. Co prawda, potok zasilany źródłami 1 i 2 nie spełnia większości kryteriów stawianych rzece głównej. Jest on bowiem najkrótszym z rozpatrywanych cieków, prowadzi mniej wody niż jego recypient, a źródła 1 i 2 położone są niżej niż źródło 4. Również kierunek jego biegu nie może być przesłanką do potraktowania go jako cieku głównego. Wydaje się jednak, iż najważniejszym czynnikiem decydującym o uznaniu potoku, zapoczątkowanego źródłami 1 i 2, za ciek główny jest tradycja. Źródła te były uważane za początek Nysy Kłodzkiej jeszcze przed II wojną światową i tradycja ta jest podtrzymywana przez mieszkańców okolicznych wsi oraz członków PTTK. Spośród wymienionych dwu wypływów (1, 2), za główny proponuję przyjąć źródło 1 (ryc. 3.10.2). Chociaż oba mają podobną wydajność, rzędną i dają początek potokom o podobnej długości, to jednak źródło 1 jest łatwiej dostępne dla turystów. Wypływ znajduje się bowiem w pobliżu turystycznego przejścia granicznego z Czechami, ok. 50 m poniżej drogi „szlabanowej". Prowadzi też do niego oznakowana i łatwa ścieżka.

Uwzględniając powyższe rozważania, istnieje potrzeba uporządkowania nazewnictwa i dokonania poprawek w kolejnych edycjach mapy topograficznej Polski w skalach 1:10 000, arkusz Pisary i 1:25 000, arkusz Międzylesie. Proponuję przejąć nazewnictwo cieków z mapy turystycznej Polski „Kotlina Kłodzka" w skali 1:100 000. Hydronimię zlewni górnej Nysy Kłodzkiej, wzorowaną na tej mapie, przedstawia ryc. 3.10.1. Ciek wypływający ze źródła 1 należy oznaczyć w kolejnych edycjach map topograficznych jako Nysę Kłodzką. Potok rozpoczynający się wyciekiem 5 proponuję nazwać „Bagnicą", gdyż wypływa z licznych, rozległych mokradeł. Dla potoku biorącego początek w źródle 3 trafna wydaje się nazwa „Potoczysko", z uwagi na największą ilość prowadzonej wody, zaś potok wypływający ze źródła 4, warto nazwać „Jodłownikiem" (płynie przez miejscowość Jodłów).



Ryc. 3.10.2. Główne źródło Nysy Kłodzkiej (źródło 1).
Fig. 3.10.2. The main spring of the Nysa Kłodzka river (spring 1).

Summary

Problems with delineation of the main river course on the example of the Nysa Kłodzka river

The aim of the chapter is to present various concepts to determine location of the main spring and, what follows, the course of the main river. In practice analyses of individual watercourses morphometric parameters changes let us introduce discrepancies onto topographical maps. The upper part of the Nysa Kłodzka river was used as an example in this chapter. The controversy about the location of the main spring clearly shows the problems and possibilities of various interpretations. Such situation is frequently a problem for scientists and members of scientific expeditions.

Five springs in the upper part of the Nysa Kłodzka river were selected for these studies. All of them fulfill anticipation as for the main springs of the upper Nysa Kłodzka river:

1, 2 − springs marked on the old German maps. Near the number 1 the spring PTTK set a notice board informing that this is the main spring of the Nysa Kłodzka river. It was also recognized as the main spring in the Hydrological Atlas of Poland (1980) and the tourist map „Kłodzko Basin" in the scale 1:100 000 (1999);

3 − spring marked as the main spring on topographical map of Poland in the scale 1: 10 000 and 1:25 000. Moreover, the stream carries the greatest amount of water;

4 − spring located at the highest altitude (1018 m above sea level), the longest watercourse;

5 − wetland with the largest discharge (3.15 $dm^3 \cdot s^{-1}$).

Analyses of individual springs showed that the main spring significantly changed morphometric parameters of the catchment. The received values often differs by about 50%.

I postulate to accept the spring marked with nr 1 as the main spring of the Nysa Kłodzka river even though watercourse initiated by this spring does not fulfill most of the criteria for main rivers. It is the shortest one and carries less water then the other watercourse being its recipient. Besides it is located at the lower altitude than the spring 4. Moreover, the direction of its flow does not allow to treat this watercourse as the main one in the studied area. Tradition is the crucial factor in choosing this spring as the main one. It was recognised as the main spring of the Nysa Kłodzka river on the old German maps and so it is treated by local population and PTTK organization.

4. HYDROCHEMICZNE I HYDROBIOLOGICZNE BADANIA ŹRÓDEŁ

Adam Bartnik
Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej, Uniwersytet Łódzki
90-139 Łódź, ul. Narutowicza 88, abartnik@geo.uni.lodz.pl

4.1. Zróżnicowanie przestrzenne wybranych cech fizykochemicznych wód źródeł zlewni Bystrzycy Dusznickiej

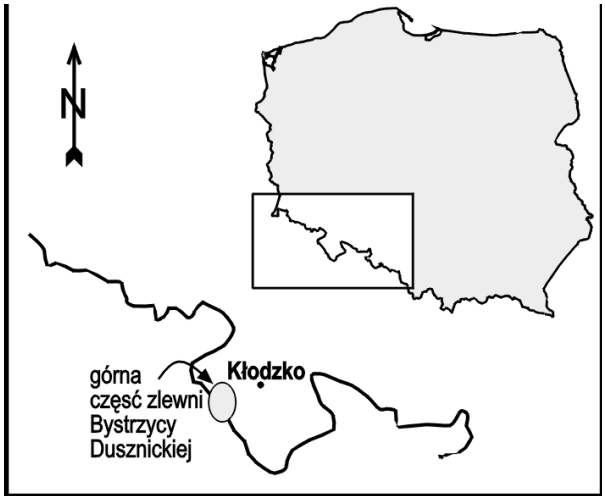
Wstęp

Kartowanie wypływów wód podziemnych na powierzchnię na obszarach górskich ma istotne znaczenie poznawcze. Niesie bowiem ze sobą wiele cennych informacji o zasobach wodnych zlewni i budowie geologicznej stref drenowanych przez źródła. Ponadto, na obszarach gdzie nie istnieją studnie, a wykonanie odwiertu jest drogie lub wręcz niemożliwe, ze względu na niedostępność terenu i jego duże spadki, badania krenologiczne stają się często jedynym sposobem pozyskiwania informacji hydrogeologicznej. Problemy w zdobywaniu informacji skutkują „białymi plamami" w lokalnym rozpoznaniu zasobności wodnej obszarów górskich. Właśnie w takich przypadkach, szczególnego znaczenia nabierają badania wydajności i cech fizykochemicznych różnych typów wypływu wody podziemnej na powierzchnię, w tym źródeł.

Obszar badań

Zlewnia górnej Bystrzycy Dusznickiej położona jest w Sudetach Środkowych, na pograniczu gór Bystrzyckich i Orlickich (ryc. 4.1.1). Granica masywów biegnie tu wciosową doliną Bystrzycy Dusznickiej, stanowiącą oś opisywanego obszaru. Dopływy lewobrzeżne: Młynówka, Suchy Potok, Kuźniczy Potok, Wilcznik i Podgórna, odwadniają wschodnie skłony Gór Orlickich, zaś prawobrzeżne: Czerwony Potok, Strążyski Potok i Elizówka, odprowadzają wodę z zalesionych stoków Gór Bystrzyckich. Deniwelacja zlewni górnej Bystrzycy Dusznickiej przekracza 550 m (najwyższy szczyt – Orlica 1084 m n.p.m.). Głębokie rozcięcia terenu, mające często charakter dolin wciosowych, czy nawet

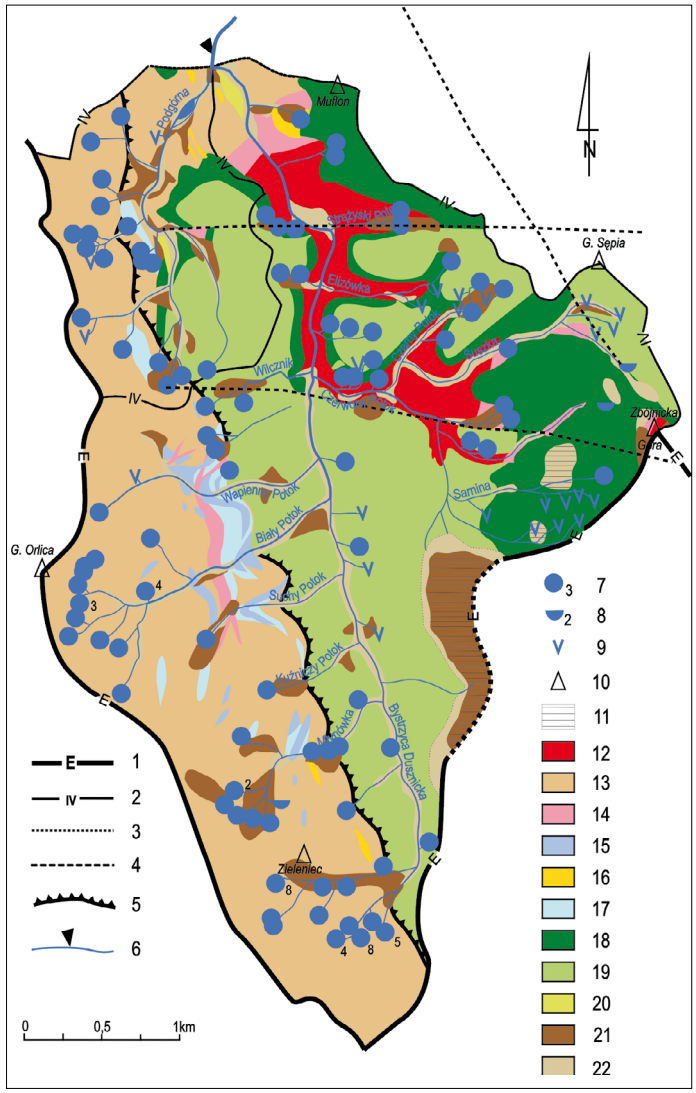
wąwozów, sprawiają, iż nachylenia stoków są bardzo znaczne i mogą przekraczać 60%. W efekcie procesu peneplenizacji grzbiety są większości kopulaste lub spłaszczone. Na badanym obszarze występują co najmniej dwa poziomy zrównań trzeciorzędowych, na których rozwinęły się rozległe mokradła (Topielisko, Czarne Bagno). W zależności od wysokości zmieniają się także opady. Opady w partiach szczytowych Gór Orlickich wynoszą ok. 1400 mm, zaś w dnach dolin maleją do ok. 700 mm (Bartnik, Walisch 1997).



Ryc. 4.1.1. Obszar badań
Górną część zlewni Bystrzycy Dusznickiej oznaczono strzałką
Fig. 4.1.1. Area of research
The upper part of the Bystrzyca Dusznicka catchment signed with an arrow

Kartowanie wypływów wód podziemnych i ich cech fizykochemicznych w zlewni Bystrzycy Dusznickiej przeprowadzono w lipcu 2005 i 2006 r. Obszar badań obejmował zlewnię o powierzchni 24,5 km^2 zamkniętą przekrojem w Dusznikach Zdroju. Okres badawczy był szczególnie suchy. Stworzyło to doskonałe warunki do badania cech fizykochemicznych wód źródlanych, zwłaszcza zasilanych z głębszych i trwalszych zbiorników wód podziemnych. Na wiosnę i w latach mokrych, liczba wypływów jest tu znacznie większa. Uaktywniają się wtedy wypływy zasilane wyłącznie z pokryw zwietrzelinowych (Różycki 1970).

Dla obiegu wody na obszarach górskich fundamentalne znaczenie ma budowa geologiczna. W przypadku zlewni Bystrzycy Dusznickiej, wskutek bogatej historii geologicznej tego obszaru, jest ona szczególnie skomplikowana (ryc. 4.1.2). Trzon krystaliczny budują tu proterozoiczne gnejsy, zapadające pod górnokredowe osady depresji śródsudeckiej. Stanowią je głównie piaskowce kwarcowo-skaleniowe. Trzeci kompleks skalny reprezentują proterozoiczne łupki łyszczykowe, nasunięte i sfałdowane w postaci tzw. nasunięcia Zieleńca (Cymerman 1992).



Ryc. 4.1.2. Budowa geologiczna zlewni Bystrzycy Dusznickiej (na podstawie Szczegółowej mapy... 1992, zmienione).
Działy wodne: 1 – europejski, 2 – IV rzędu, 3 – dopełniający; 4 – przebieg potwierdzonych uskoków; 5 – granica nasunięcia zieleńca; 6 – ciek i profil pomiarowy; 7 – źródło, cyfrą oznaczono liczbę wypływów w źródlisku; 8 – młaka, cyfrą oznaczono liczbę wypływów; 9 – wyciek; 10 – ważniejsze kulminacje; 11 – większe obszary podmokłe; proterozoik: 12 – gnejsy mylonityczne, 13 – łupki łyszczykowe, 14 – mylonity kwarcowe, 15 – dolomity krystaliczne; 16 – kwarcyty grafitowe i łupki grafitowe; 17 – łupki łyszczykowo-węglanowe; kreda: 18 – piaskowce mułowcowe, ciosowe, 19 – margle ilasto-krzemionkowe poziomu Inoceramus; czwartorzęd: 20 – plejstoceńskie żwiry i piaski rzeczne teras; 21 – gliny deluwialne z rumoszem skalnym, 22 – osady rzeczne w ogólności

Fig. 4.1.2. Geology of the Bystrzyca Dusznicka catchment (on the basis of Szczegółowa mapa... 1992, changed)
Watersheds: 1 – European, 2 – of the 4th order, 3 – drawn to the profile closing up the catchment; 4 – simplified run of more important tectonic faults; 5– the border of the zieleniec overthrust; 6 – stream, and water-gauge; 7 – spring (figure indicates a number of springs in one complex); 8 – bog-spring (figure indicates a number of bog-springs in one complex); 9 – spring sapping; 10 – height-point; 11 – larger marshy area; Proterozoic: 12 – mylonitic gneisses, 13 – mica-slates, 14 – quartz mylonites, 15 – quartz dolomites; 16 – graphite quartzites and graphite-slates; 17 – mica-carbonate-slates; Cretaceous: 18 – mudstoned, absondering sandstones, 19 – argillo-silica marls of Inoceramus level; Quaternary: 20 – Pleistocene fluvial gravels and sands of terraces, 21 – delluvial clays with rock debris, 22 – fluvial deposits

Skały podłoża przykryte są produktami wietrzenia oraz osadami akumulacji rzecznej. Zwietrzelina rumoszowo-gliniasta posiada zmienną miąższość, zróżnicowaną w zależności od nachylenia stoków. Największą miąższość osiąga ona u podnóży zboczy (Bartnik, Tomaszewski 1998). Z punktu widzenia zasobów wód podziemnych, duże znaczenie mają tu wody występujące w utworach czwartorzędowych i prekambryjskich. Bardzo zasobny jest ponadto zbiornik wód górnokredowych (Malinowski i in. 1988).

Na badanym obszarze można wyróżnić następujące rodzaje wód podziemnych:

- wody w glinach deluwialnych z rumoszem skalnym, w żwirach i piaskach teras rzecznych oraz stożków napływowych – występują na zboczach dolin, odznaczają się małą stabilnością, a poziom ich zwierciadła uzależniony jest od opadów atmosferycznych, wody te są często w kontakcie hydraulicznym z wodami szczelinowymi krążącymi w leżących niżej skałach metamorficznych lub osadowych;
- wody w osadach górnej kredy (najzasobniejszy zbiornik tego rejonu) – tworzą go dwa poziomy uszczelinionych piaskowców, wykazujących wyraźną oddzielność płytową oraz ciosową (pionową), nawiązującą do linii dyslokacji Spalonej;
- wody szczelinowe w skałach metamorficznych – są to głównie wody głębokiego krążenia, zasilane przez opady atmosferyczne, przy czym decydującą rolę w ich krążeniu odgrywa tektonika dysjunktywna.

Metody i wyniki badań

Badania terenowe przebiegały dwuetapowo. W pierwszym − kartowano wszystkie przejawy wód podziemnych na powierzchni terenu. Określano m.in.: położenie wypływu, jego wydajność i podstawowe cechy fizykochemiczne wody (temperaturę, pH, przewodność elektrolityczna właściwą). W drugim etapie badano zmiany cech fizykochemicznych wód wraz z biegiem każdego z dopływów Bystrzycy z osobna.

Łącznie, w lipcu 2005 i 2006 rozpoznano odpowiednio: 216 i 248 wypływów wód podziemnych. Wskaźnik uźródłowienia (z uwzględnieniem wszystkich typów wypływów) wynosił ok. 10 źr/km^2. Gęstość sieci rzecznej odwadniającej badany teren oszacowano na 1,57 km·km^{-2}.

Największą wydajnością sumaryczną charakteryzowały się wypływy z przedziału wysokościowego 750−850 m n.p.m. (107 wypływów o łącznej wydajności ponad 20,5 dm^3·s^{-1}). Warto dodać, iż jest to strefa, w obrębie której przebiega granica nasunięcia zieleńca i związane z nią liczne uskoki i spękania podłoża kredowego (Bartnik, Tomaszewski 1998).

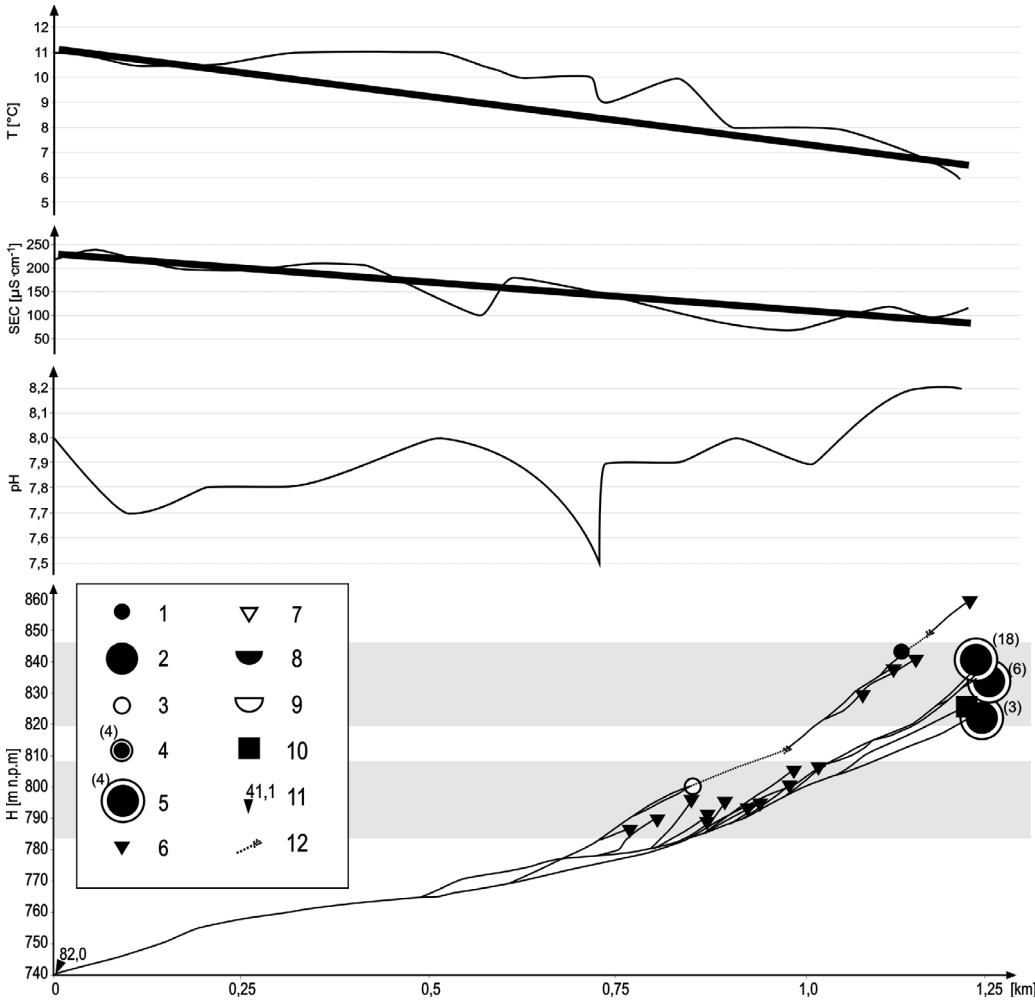
Wyniki pomiarów temperatury wody wykazały, że wypływy szczelinowe charakteryzowały się relatywnie niską temperaturą, zaś najcieplejsza była woda wypływająca z młak i mało wydajnych wycieków dolinnych. Zmierzona temperatura wypływających wód podziemnych wskazuje dość znaczny, ujemny gradient pionowy. Wynosi on od 1,25 do 1,43ºC na 100 m. Obserwowane odchylenia wynikają z występowania na różnych wysokościach wycieków i młak. Wody z wypływów tego typu powodują zakłócenie tej zależności i czasami znacznie odbiegają od przeciętnej temperatury na danej wysokości. Najniższa zanotowana temperatura wypływającej wody wynosiła 4ºC, a najwyższa: 15ºC.

Badania odczynu wody wypływów wykazały znaczne zróżnicowanie przestrzenne (zakres zmienności 4–8,5). Najniższym pH charakteryzowały się wody obszarów zabagnionych lub porośniętych gęstym lasem iglastym (wschodnia część obszaru badań), wyższe zawartości były związane z soczewami dolomitów krystalicznych, których szczeliny wypełnione są iłem i w znacznym stopniu spowalniają filtrację. Dotyczy to w szczególności dorzecza Wapiennego Potoku. Wzrost odczynu może być także podyktowany lokalnym wpływem antropopresji, zwłaszcza na silnie przekształconych i wykarczowanych stokach Zieleńca.

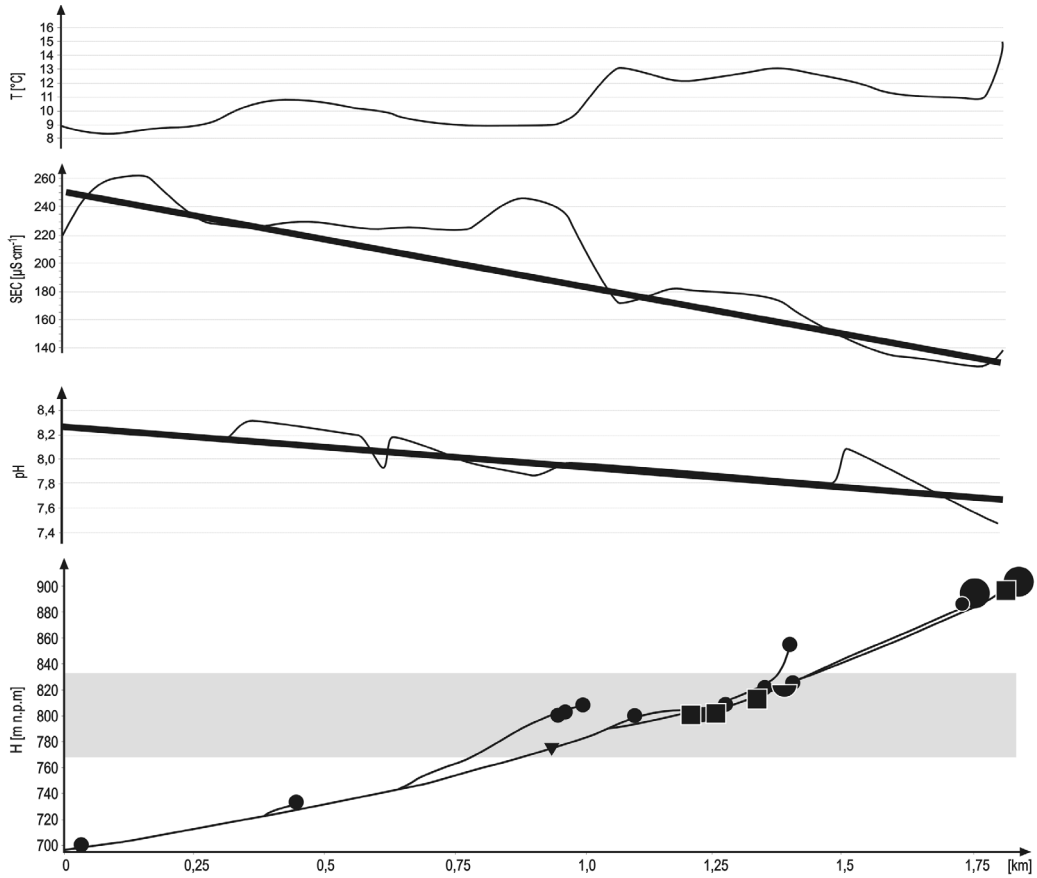
Pomiary konduktywności dowiodły istnienia słabego związku z wysokością (ujemny gradient od 6,2 do 7,8 $\mu S \cdot cm^{-1}$ na 100 m), co wynika oczywiście ze zróżnicowanej budowy geologicznej. Warto też dostrzec, że niemal wszystkie skartowane obiekty charakteryzowały się przewodnością wody mniejszą od 300 $\mu S \cdot cm^{-1}$ (najczęściej 60−100 $\mu S \cdot cm^{-1}$). Jedynie kilka wypływów wtórnych, położonych w dnie dolin, cechowała większa przewodność elektrolityczna – (500–1200 $\mu S \cdot cm^{-1}$).

W toku analiz zauważono, że przeważająca część wypływów wód podziemnych występuje w obrębie dolin rzecznych, przy czym, ich cechy fizykochemiczne w dużej mierze zależą od warunków lokalnych (ekspozycja, spadek, otaczająca roślinność, zanieczyszczenia itp.). Biorąc to pod uwagę, w drugim etapie badań, każdy z dopływów Bystrzycy (ryc. 4.1.2) potraktowano oddzielnie, badając zmiany cech fizykochemicznych wody wraz z jego biegiem. Pozwoliło to na prześledzenie tempa i charakteru zmian cech wód źródlanych w trakcie ich transformacji w wody rzeczne.

Badania terenowe ograniczały się do dolin rzecznych i polegały na patrolowych pomiarach różnych cech fizykochemicznych wody co 100 m, wzdłuż biegu cieku głównego oraz we wszystkich wypływach wód podziemnych i przy dopływach strug bocznych. Źródła, wycieki i młaki traktowane były w ten sam sposób. Na profil, wykonany na podstawie mapy topograficznej, naniesiono skartowane miejsca wypływu wód podziemnych, występujące w obrębie dolin cieku głównego i jego dopływów. Zmiany mierzonych cech fizykochemicznych wraz z biegiem cieku zaznaczono na odpowiednich diagramach (ryc. 4.1.3 − 4.1.6).



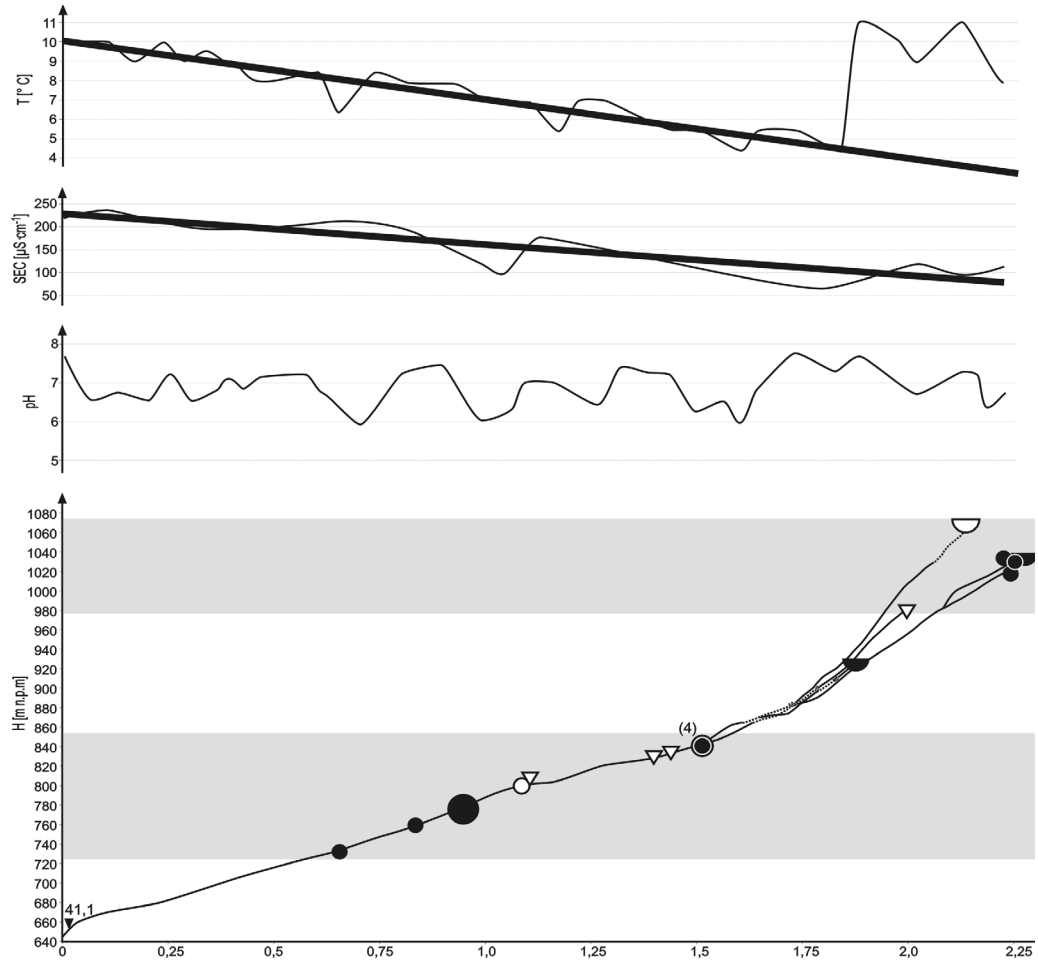
Ryc. 4.1.3. Profil hydrochemiczny źródłowego odcinka Bystrzycy Dusznickiej.
Źródło: 1 – o wydajności <0,5 $dm^3 \cdot s^{-1}$, 2 – o wydajności >0,5 $dm^3 \cdot s^{-1}$, 3 – o nieznanej wydajności; zespół źródeł (w nawiasie podano liczbę wypływów): 4 – o łącznej wydajności <0,5 $dm^3 \cdot s^{-1}$, 5 – o łącznej wydajności >0,5 $dm^3 \cdot s^{-1}$; 6 – wyciek; 7 – wyciek o nieznanej wydajności; 8 – młaka odpływowa; 9 – młaka infiltracyjno-ewaporacyjna; 10 – zbiornik sztuczny; 11 – natężenie przepływu (wydajność podano w $dm^3 \cdot s^{-1}$); 12 – ponor i ciek okresowy
Fig. 4.1.3. The hydrochemical profile of the Bystrzyca Dusznicka headwater section
Spring: 1 – with a yield smaller than 0,5 $dm^3 \cdot s^{-1}$, 2 – with a yield bigger than 0,5 $dm^3 \cdot s^{-1}$, 3 – with unknown yield; the group of springs (figure indicates a number of springs in one complex): 4 –with a yield smaller than 0,5 $dm^3 \cdot s^{-1}$, 5 – with a yield bigger than 0,5 $dm^3 \cdot s^{-1}$; 6 – spring sapping; 7 – spring sapping with an unknown yield; 8 – bog-spring with outflow; 9 – evapo-infiltration bog-spring; 10 – water reservoir; 11 – discharge value [$dm^3 \cdot s^{-1}$]; 12 – swallet and intermittent stream



Ryc. 4.1.4. Profil hydrochemiczny Młynówki Oznaczenia jak na ryc. 4.1.3.
Fig. 4.1.4. The hydrochemical profile of the Młynówka stream
See the signatures under the fig. 4.1.3.

Dyskusja wyników

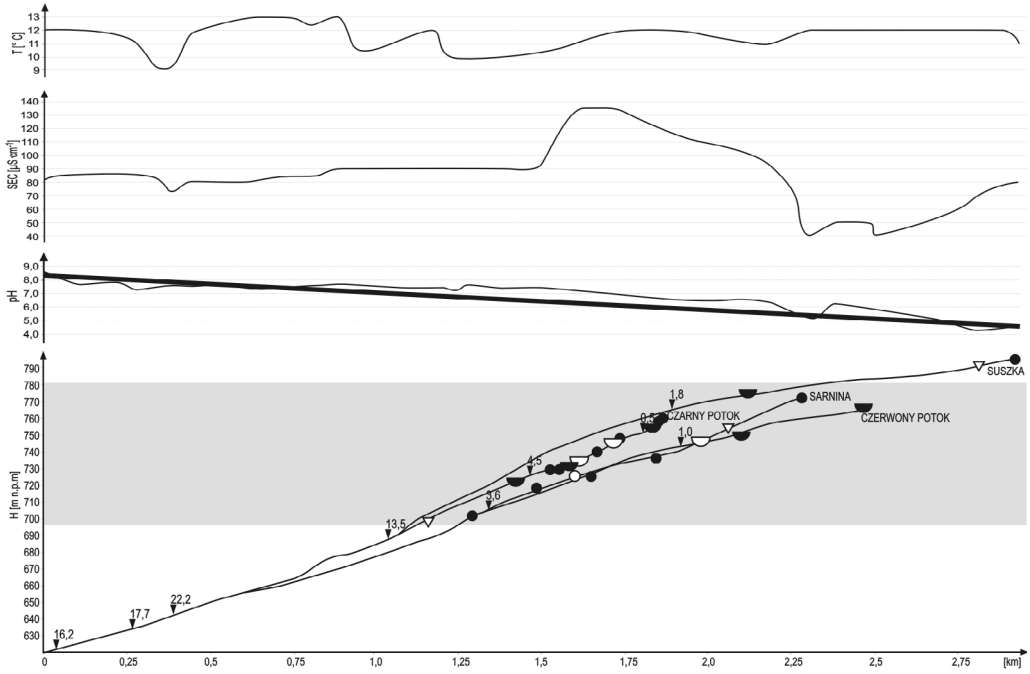
Profil zmian właściwości fizykochemicznych wody źródłowego odcinka Bystrzycy Dusznickiej prezentuje ryc. 4.1.3. Główny ciek badanego obszaru rozpoczyna się bardzo wydajnym zespołem źródeł (niemal 30 wypływów w 4 grupach). W literaturze ta strefa wypływów opisywana była już w latach 70. przez Kryzę (1975). Od owego czasu otoczenie tego miejsca uległo jednak zmianie. Opisywana przez tego autora 150-metrowa linia, wzdłuż której układało się 5 dużych wypływów, ewoluowała. Powstały 3 główne strefy wypływów (i jedna wtórna). Najbardziej rozległa, z 18 źródłami szczelinowymi, jest jedną z największych w Sudetach i z pewnością zasługuje na ochronę. Sumaryczna wydajność tego zespołu źródeł waha się od ok. 40 do ponad 60 $dm^3 \cdot s^{-1}$ (wg Kryzy: od 18 do 36 $dm^3 \cdot s^{-1}$). W latach 80. zachodnia część niszy została zasypana na skutek budowy dużego parkingu. To najprawdopodobniej było przyczyną największych przekształceń.



Ryc. 4.1.5. Profil hydrochemiczny Białego Potoku
Oznaczenia jak na ryc. 4.1.3.
Fig. 4.1.5. The hydrochemical profile of the Biały Potok
See the signatures under the fig. 4.1.3.

Woda wypływająca w niszy źródłowej ma niską temperaturę i konduktywność. Wraz z biegiem cieku głównego, następuje stopniowy wzrost temperatury (ok. 0,4ºC na 100 m) i konduktywności (ok. 12 $\mu S \cdot cm^{-1}$ na 100 m), zaś odczyn wody zmienia się w niewielkim zakresie, ale staje się mniej zasadowy. Wypływająca ze źródeł woda, już po przepłynięciu 300 m, nabiera cech charakterystycznych dla wód rzecznych. Nagły (lokalny) spadek odczynu wody jest związany z dopływem wód odwadniających stok porośnięty gęstym lasem świerkowym z grubą warstwą igliwia (ryc. 4.1.3).

Nieco inny jest przebieg cech fizykochemicznych wody wzdłuż profilu Młynówki, cieku odwadniającego wschodnie stoki Zieleńca. Konduktywność wody,



Ryc. 4.1.6. Profil hydrochemiczny Czerwonego Potoku
Oznaczenia jak na ryc. 4.1.3.
Fig. 4.1.6 The hydrochemical profile of the Czerwony Potok
See the signatures under the fig. 4.1.3.

jak i odczyn charakteryzują się stopniowym wzrostem. Temperatura wody wyraźnie spada na skutek zacienienia dolnej części cieku. W górnym, wylesionym do celów narciarskich, fragmencie doliny istnieje kilka zbiorników służących do dośnieżania stoków w czasie zimy. Sukcesywny wzrost odczynu wody ku bardziej zasadowemu, wskazuje na wzrost zanieczyszczenia wody w Młynówce. Zwraca również uwagę strefa pojawiania się dużej liczby mało wydajnych wypływów związanych ze strefą nasunięcia zieleńca (ryc. 4.1.4).

Ciekiem o największym spadku (średnio 20%) jest na opisywanym obszarze Biały Potok (ryc. 4.1.5). Bierze on początek na polach młacznych znajdujących się tuż poniżej szczytu Orlicy (1084 m n.p.m.). Wzrost przewodnictwa elektrolitycznego właściwego wraz z biegiem potoku jest wręcz modelowy. Gradient przyrostu jest tu jednak niewielki i wynosi ok. 7 $\mu S \cdot cm^{-1}$ na 100 m. W przebiegu temperatury zwracają uwagę przede wszystkim „ciepłe" młaki dające początek strudze. Typową (średnią) dla tej wysokości temperaturę osiąga Biały Potok na skutek dopływu wody z bardzo wydajnej młaki położonej znacznie niżej. Od tego momentu, profil termiczny wód w potoku staje się bardziej wyrównany (0,3ºC/100 m). Zauważalne są tylko drobne wahnięcia spowodowane wzmożo-

nym zasilaniem bądź z zaobserwowanych wypływów, bądź też na skutek niekontrolowanego dopływu wód podziemnych bezpośrednio do koryta.

Prezentowane wyżej profile dotyczą cieków odwadniających wschodnie stoki Gór Orlickich. Nieco inaczej jest w przypadku prawobrzeżnych dopływów Bystrzycy Dusznickiej. Na ryc. 4.1.6 przedstawiono profile sporządzone dla największego (pod względem długości i wielkości dorzecza) dopływu Bystrzycy – Czerwonego Potoku, odwadniającego zachodnie stoki Gór Bystrzyckich. Uwagę zwraca przede wszystkim wypukły profil podłużny cieku. Partie wierzchołkowe są spłaszczone i zabagnione. Dominującymi typami wypływów są tu: wycieki powierzchniowe i młaki wyciekowe. Zarówno te wypływy, jak i stosunkowo nieliczne źródła, są tu mało wydajne.

Na prezentowanych wykresach zmian cech fizykochemicznych wody w potoku zwraca szczególną uwagę sukcesywny wzrost odczynu wody (0,15 pH na 100 m) – ryc. 4.1.6. Woda, wypływająca z występujących tu licznie młak oraz torfowisk wysokich, jest mocno zakwaszona. Stopniowo, wraz z biegiem rzeki następuje jednak przesunięcie pH ku słabo zasadowemu, charakterystycznemu dla wszystkich rzek regionu. Znaczny wzrost konduktywności wody w środkowym biegu potoku związany jest najprawdopodobniej z występowaniem w tej strefie wypływów zmineralizowanych wód podziemnych. Śledząc przebieg temperatury zauważamy, występujący w dolnym biegu potoku, nagły jej spadek. W tym miejscu znajduje się infiltracyjne ujęcie wód podziemnych na potrzeby Dusznik Zdroju. Obserwowana zmiana temperatury wody w cieku (i spadek jego przepływu), związane są najprawdopodobniej z intensywniejszym napływem wód aluwialnych.

Jedna z pojawiających się w literaturze ciekawych hipotez dotyczy sposobu zasilania źródeł w zlewni Bystrzycy Dusznickiej. Według jej autorów, strefa występowania, głównego na tym terenie zespołu źródeł, tzw. źródeł Bystrzycy Dusznickiej pod Zieleńcem, zawdzięcza swoje istnienie sieci głębokich uskoków i szczelin (Kryza 1975; Cymerman 1992). To właśnie nimi przepływają wody pochodzące ze stref głębokiego krążenia, zasilające następnie wydajne wypływy. W przekazie słownym, wśród lokalnej społeczności, funkcjonuje także pogląd, jakoby woda wypływająca w obrębie niszy źródliskowej Bystrzycy Dusznickiej, związana była ze złożami wód mineralnych, eksploatowanymi w Dusznikach Zdroju. Zatem, wody te powinny być mocno wzbogacone w substancje mineralne, wypłukane wskutek długiego krążenia w obrębie górotworu.

Prowadzone na obszarze zlewni Bystrzycy Dusznickiej odwierty w ramach opracowania projektu zaopatrzenia Dusznik Zdroju i Zieleńca w wodę pitną (Arcadis Ekokonrem 2002), potwierdziły stosunkowo dużą mineralizację wód

występujących już na głębokości 50 m p.p.t. (400–600 $\mu S \cdot cm^{-1}$). Natomiast, zbadane wypływy wód podziemnych charakteryzują się niską mineralizacją ogólną. Wskazuje to zatem, na brak powiązania wypływającej tu wody z systemem wód głębokiego krążenia. Równocześnie, można stwierdzić, że czas przebywania wody w skałach jest krótki, a zasilanie wypływów zależy wyłącznie od opadów atmosferycznych. Tylko wody słabych wycieków i źródeł zasilanych z gliniasto-rumoszowej pokrywy zwietrzelinowej w obrębie stoków i den dolinnych charakteryzują się nieco większą przewodnością elektrolityczną właściwą.

Na zakończenie warto również zauważyć, że na terenach górskich, lokalne i przydomowe ujęcia wody często bazują na ciekach i źródłach, a wykonywane niekiedy odwierty nie są w stanie zaspokoić potrzeb użytkowników. Dlatego rozpoznawanie warunków krenologicznych wykazuje szereg aspektów praktycznych, związanych z racjonalnym wykorzystywaniem zasobów wód podziemnych.

Summary

Spatial differentiation of the selected physico-chemical features of springs of the Bystrzyca Dusznicka catchment

The chapter relates to the springs of the Bystrzyca Dusznicka catchment. The physico-chemical features of outflows were measured during two seasons (2005 and 2006). The position of the area of study is presented with fig. 4.1.1. Geological structure and the distribution of larger outflows shows fig. 4.1.2. Measurements included spring yield, pH, conductivity and temperature of water outflows. On the studied area it was recognized from 216 to 248 outflows in both seasons (depending on weather conditions). The measurements of spring water temperature let establish the rate of the temperature fall in relationship to the spring altitude. It is between 1,25 and 1,43 $^{o}C \cdot 100\ m^{-1}$. The studies of water pH outflows showed the considerable elevation differentiation of this feature (the range of changeability 4−8,5). The measurements of conductivity proved the existence of the weak relationship with the altitude (rate from 6,2 to 7,8 $\mu S \cdot cm^{-1} \cdot 100\ m^{-1}$).

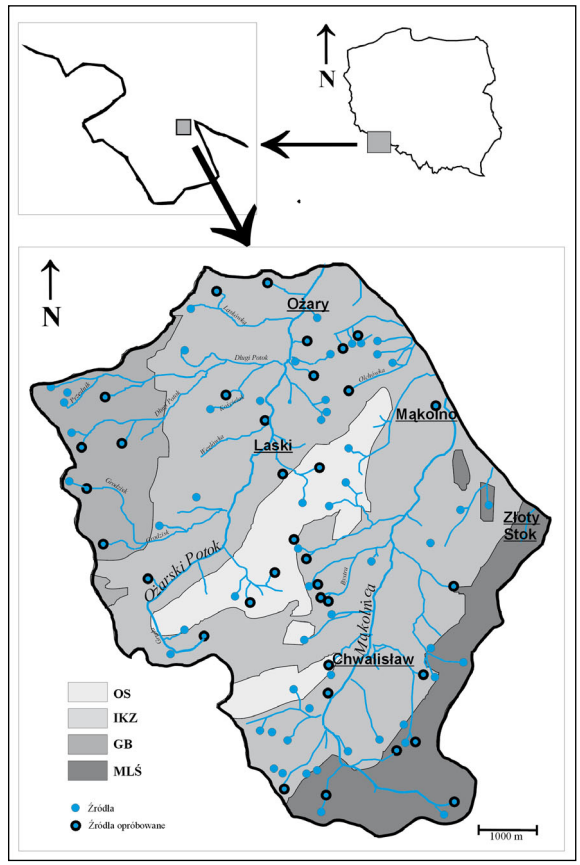
The hydro-chemical profiles of selected rivers of the studied area were shown in the second part of the chapter (figs. 4.1.3, 4.1.4, 4.1.5 and 4.1.6). The special attention was paid on transformations in the largest spring niche and also on the problem of the alimentation of the studied area. Measurements of conductivity proved that the alimentation of almost all outflows of the Bystrzyca Dusznicka catchment takes place over the systems of shallow cracks and rock-mantle.

Marcin Stępień
Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Uniwersytet Wrocławski
02-089 Warszawa, al. Żwirki i Wigury 93, stempel@uw.edu.pl

4.2. Zmienność chemizmu wód źródeł w zależności od wybranych czynników przyrodniczych na przykładzie zlewni Ożarskiego Potoku i Mąkolnicy (Sudety Środkowe i Wschodnie)

Położenie terenu badań

Obszarem badań są górskie fragmenty dwu, sąsiadujących ze sobą, zlewni położonych w Sudetach. Zlewnia Ożarskiego Potoku leży w Górach Bardzkich i Złotych, a zlewnia Mąkolnicy w całości w Górach Złotych (ryc. 4.2.1). Teren badań od północnego wschodu ograniczony jest sudeckim uskokiem brzeżnym, wyraźnie zaznaczającym się w morfologii terenu i oddzielającym część górską od równinnej. Według podziału Kondrackiego (1998), zlewnie znajdują się na pograniczu Sudetów Środkowych (do których zalicza Góry Bardzkie) i Sudetów Wschodnich (Góry Złote). W podziale geologicznym Sudetów, Sudety Środkowe w całości należą do bloku dolnośląskiego (Stupnicka 1997). Obszar badań zajmuje powierzchnię około 50 km^2.



Ryc. 4.2.1. Położenie terenu badań i szkic budowy geologicznej (objaśnienia w tekście)
Fig. 4.2.1. Position of the investigated area and its geological sketch (explanation in text)

Warunki geologiczne

W skład omawianego terenu wchodzą fragmenty czterech jednostek geologiczno-strukturalnych (ryc. 4.2.1). Największą z nich jest górnokarbońska intruzja kłodzko-złotostocka (IKZ). Tworzą ją różnego rodzaju skały plutoniczne kwaśne i obojętne (granity, granodioryty, tonality, sjenity, monzonity, dioryty, gabra i odmiany pośrednie między nimi). Na północnym zachodzie intruzja ta kontaktuje się z należącymi do dolnego karbonu skałami osadowymi Gór Bardzkich (GB). Są to przede wszystkim szarogłazy, łupki i mułowce. Od wschodu intruzję ogranicza proterozoiczno-dolnopaleozoiczny metamorfik Lądka-Śnieżnika (MLS), zbudowany z różnorodnych łupków i gnejsów z wkładkami kwarcytów, amfibolitów, wapieni krystalicznych i kataklazytów. Skały przeobrażone kontaktowo (hornfelsy i gnejsy przypuszczalnie wieku górnokarbońskiego) tworzą, w centralnej części intruzji, nieciągłą pokrywę zwaną dalej osłoną stropową (OS). Przeważająca część opisywanych struktur znajduje się pod cienkim, neogeńskim płaszczem skał osadowych w tym: zwietrzelin, utworów deluwialnych i rumoszowych oraz osadów rzecznych (Cwojdziński 1974, 1977). Skład mineralny poszczególnych wydzieleń przedstawia tabela 4.2.1.

Tabela 4.2.1

Skład mineralny skał podłoża
Mineral composition of bedrock

Minerał	Jednostka geologiczno – strukturalna			
	MLS	GB	IKZ	OS
Kwarc	***	***	***	***
Skaleń potasowy	***	***	***	**
Plagioklazy	***	***	***	***
Amfibole i pirokseny			**	
Biotyt	**	**	**	***
Chloryty	**	***	**	**
Muskowit	**	***		**
Kalcyt		*	**	
Apatyt		*	*	
Cyrkon	*		*	*
Turmalin		*		*
Getyt	*	*	*	*

Objaśnienia: minerały : *** – główne, ** – poboczne, * – akcesoryczne

Explanation: minerals: *** – main, ** – secondary, * – accessory

Warunki hydrogeologiczne

Wody podziemne tworzą tu dwa zasadnicze poziomy. Płytszy, jest wykształcony w pokrywach rumoszowo-zwietrzelinowych i ma charakter porowo-szczelinowy. Głębszy poziom, o charakterze szczelinowym, występuje w skałach podłoża. Zwierciadło wód jest przeważnie swobodne i nie jest izolowane od powierzchni. Krążenie wód odbywa się pęknięciami, szczelinami i rozluźnieniami związanymi z dyslokacjami uskokowymi oraz w strefach zwietrzelin i rumoszy. Zasilanie poziomów odbywa się na wychodniach serii skalnych bezpośrednio z opadów atmosferycznych lub pośrednio poprzez pokrywy zwietrzelinowe. Lokalny przepływ wód podziemnych, odbywa się z południowego zachodu na północny wschód (Michniewicz i in. 1987; Mroczkowska 2000).

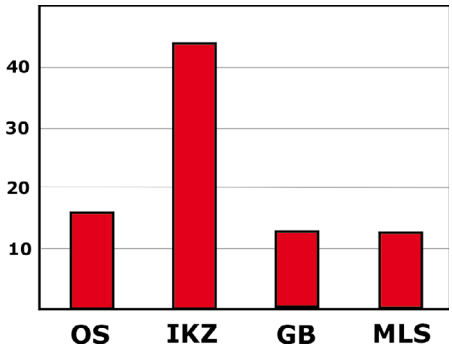
Metodyka

Kartowanie krenologiczne, jak i badania fizykochemiczne, zrealizowano w latach 1998–1999 w ramach trzech sesji terenowych: latem (2 sesje) i zimą (1 sesja). Podczas badań zlokalizowano łącznie 101 wypływów wód podziemnych. Warto w tym miejscu podkreślić, iż brano pod uwagę głównie źródła w klasycznym tego słowa znaczeniu (Bocheńska i in. 2002). Badano właściwości fizykochemicznych wód źródlanych (temperaturę, pH, przewodnictwo elektrolityczne), niekiedy określano również wydajność wypływu. Z wytypowanych 34 wypływów analizie poddano też 86 prób wody. W laboratorium określono dla nich przede wszystkim stężenia jonów głównych. Pobór próbek odbywał się w taki sposób, by w miarę równomiernie reprezentowane były wszystkie jednostki geologiczno-strukturalne oraz cały zakres wysokościowy występowania źródeł na badanym terenie.

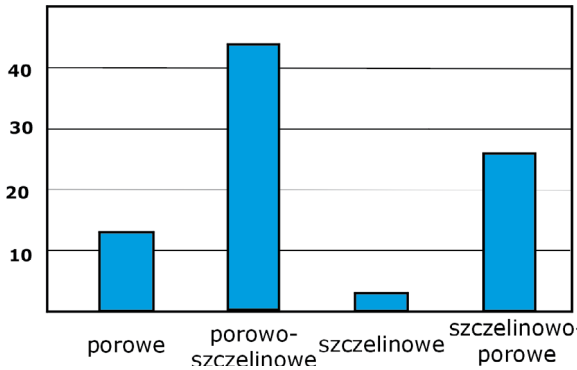
Charakterystyka krenologiczna i hydrochemiczna

Z oczywistych powodów liczba źródeł wypływających ze skał budujących daną jednostkę geologiczno-strukturalną zależy od jej wielkości (ryc. 4.2.2). Najwięcej źródeł stwierdzono w obrębie zwietrzelin granitoidów. Znacznie mniej wypływa ze skał osadowych i ich zwietrzelin. Ze względu na całkowite pokrycie litych skał podłoża zwietrzeliną, najmniej liczną grupę stanowią źródła szczelinowe. Na badanym obszarze dominują więc źródła o charakterze porowo-szczelinowym lub szczelinowo-porowym (ryc. 4.2.3).

Największą liczbę źródeł zaobserwowano w strefach wododziałowych zlewni Ożarskiego Potoku i Mąkolnicy, czyli na obszarach, gdzie rzeźba terenu jest najbardziej urozmaicona. Najwyżej położonym wypływem jest źródło Mąkolnicy. Bije ono na wysokości 722 m n.p.m. Najniżej znajduje się wypływ we wsi Mąkolno (311 m n.p.m.). Najwięcej źródeł, ponad 60%, funkcjonuje w przedziale

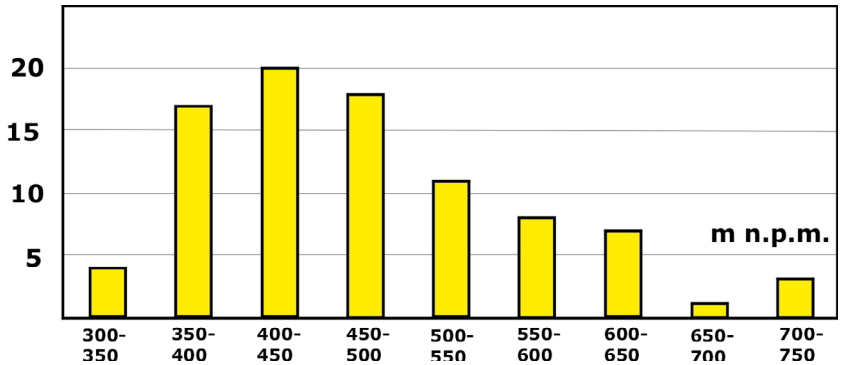


Ryc. 4.2.2. Liczba źródeł w poszczególnych jednostkach geologicznych
Fig. 4.2.2. Number of springs depending on geological unit



Ryc. 4.2.3. Liczba źródeł w obrębie wyróżnionych zbiorowisk wód podziemnych
Fig. 4.2.3. Number of springs within selected groundwater reservoirs

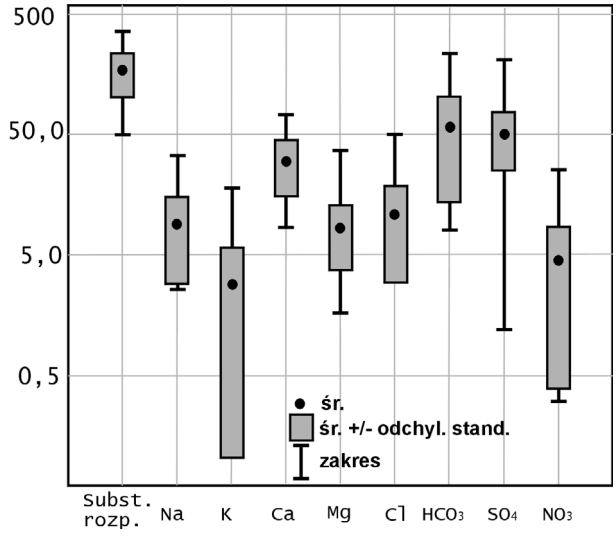
wysokości: 350–500 m n.p.m. (ryc. 4.2.4). Źródła na badanym terenie charakteryzują się niewielkimi wydajnościami. Zaklasyfikować je można do VI-VIII klasy Meinzera, przy czym najczęściej występują wypływy o wydajnościach 0,01–0,1 $dm^3 \cdot s^{-1}$ (Chmielewska 2000; Stępień 2000).



Ryc. 4.2.4. Liczba źródeł w klasach wysokości
Fig. 4.2.4. Number of springs depending on altitude

Wody źródlane na badanym terenie są mało zróżnicowane pod względem składu chemicznego. Są to wody ultrasłodkie i słodkie, których mineralizacja mieści się w przedziale od 52 do 363 $mg \cdot dm^{-3}$. Wśród anionów dominują SO_4^{2-}

i HCO_3^-, a wśród kationów Ca^{2+} i Mg^{2+} (ryc. 4.2.5). Większość badanych wód to wody czterojonowe typu SO_4HCO_3−CaMg (23 przypadki) i HCO_3SO_4−CaMg (17 przypadków) oraz trzyjonowe SO_4−CaMg (9 przypadków) lub HCO_3SO_4−Ca (6 przypadków). Pomierzone wartości odczynu wód mieszczą się w przedziale 4,3–8,9 pH. Temperatura wody w miejscu wypływu waha się od 3,0°C do 12,6°C (Chmielewska 2000; Stępień 2000).



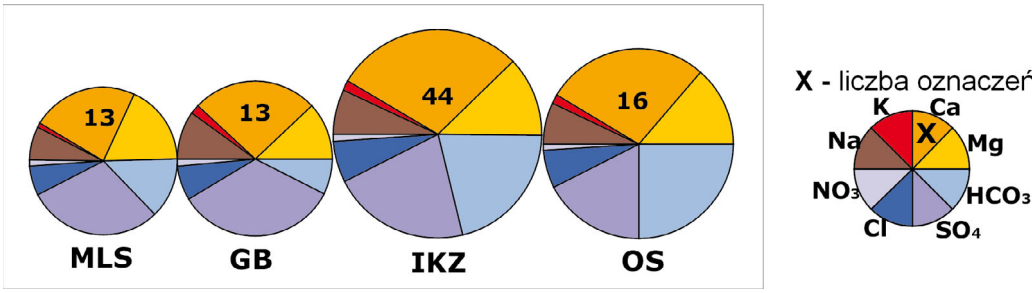
Ryc. 4.2.5. Przeciętny chemizm wód źródlanych badanego terenu
Fig. 4.2.5. Average springwater chemistry of the investigated area

Zależność chemizmu wód podziemnych od wybranych czynników przyrodniczych

Chemizm wód podziemnych zależy od szeregu czynników przyrodniczych, do których zaliczyć można m.in. litologię i rozprzestrzenienie wodonośca, czas kontaktu wody z utworami skalnymi zbiorowiska wód podziemnych, ilość i chemizm wód alimentujących utwory wodonośne i inne. Efekty oddziaływania wszystkich czynników dają się wytłumaczyć odpowiednimi procesami hydrogeochemicznymi. Zazwyczaj procesy te dają różne efekty, wpływając na zróżnicowanie chemizmu wód podziemnych. Czasami jednak, podobny efekt może być wynikiem odmiennych procesów, reprezentowanych przez różne kryteria wydzieleń subpopulacji wypływów. W dalszej części pracy przedstawiono zróżnicowanie składu chemicznego wód badanych źródeł w zależności od litologii, rzędnej wypływu i sezonu poboru prób.

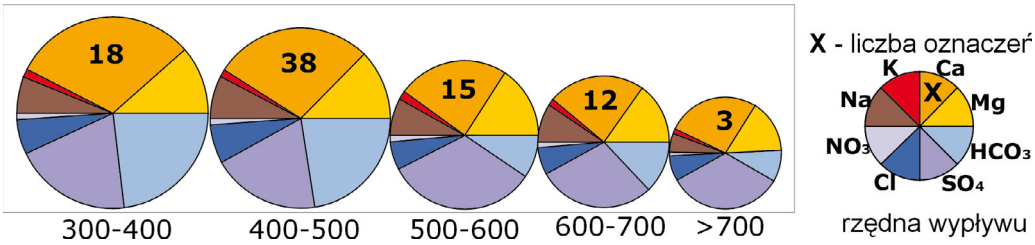
Litologia. Każda z jednostek geologiczno strukturalnych charakteryzuje się występowaniem odmiennych serii skalnych. Rzutuje to wyraźnie na chemizm wód podziemnych (ryc. 4.2.6). Zróżnicowanie uwidacznia się między innymi w stopniu mineralizacji wody. Najwięcej rozpuszczonych substancji mineralnych występuje w wodach drenujących granitoidy; średnio 201,5 $mg \cdot dm^{-3}$. Wody

w skałach osłony stropowej charakteryzują się średnią mineralizacją 196,3 mg·dm^{-3}, zaś wody źródlane wypływające ze skał osadowych Gór Bardzkich mają mineralizację równą 125,2 mg·dm^{-3}. Najmniejszą mineralizacją charakteryzują się wody wypływające ze skał metamorfiku lądecko-śnieżnickiego (114,8 mg·dm^{-3}). Zróżnicowanie przejawia się także w typie hydrochemicznym wody, szczególnie w zakresie anionów. W przypadku źródeł funkcjonujących w obrębie intruzji kłodzko-złotostockiej i metamorfiku Lądka-Śnieżnika charakterystyczny jest typ SO_4HCO_3−CaMg, w strefie skał osłony stropowej – typ HCO_3SO_4−CaMg, a na obszarze Gór Bardzkich: SO_4−CaMg.



Ryc. 4.2.6. Zróżnicowanie składu chemicznego wód źródeł w zależności od jednostki geologicznej obszaru (średnice diagramów proporcjonalne do sumy składników rozpuszczonych − mg·dm^{-3})
Fig. 4.2.6. Variability of springwater chemistry depending on geological unit (diameters of diagrams proportional to the dissolved components sums − mg·dm^{-3})

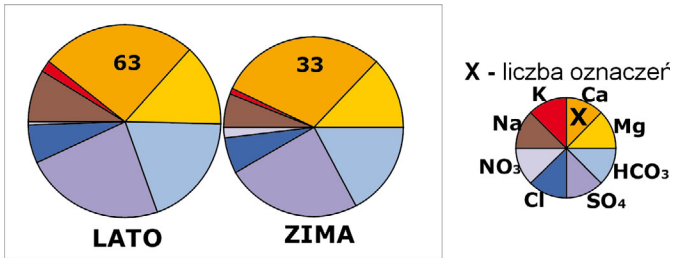
Rzędna wypływu. Deniwelacja pomiędzy wypływami położonymi najwyżej i najniżej sięga 400 m. Grupując źródła w przedziałach co 100 m, dokonano porównania przeciętnego chemizmu ich wód. Dość wyraźnie zaznacza się spadek mineralizacji wód wraz ze wzrostem wysokości położenia wypływu nad poziom morza (ryc. 4.2.7). Taka sama tendencja występuje w przypadku odczynu. Najwyższy średni odczyn wód (6,55 pH) zanotowano w grupie źródeł położonych najniżej,



Ryc. 4.2.7. Zróżnicowanie składu chemicznego wód źródeł w zależności od rzędnej wypływu (średnice diagramów proporcjonalne do sumy składników rozpuszczonych – mg·dm^{-3})
Fig. 4.2.7. Variability of springwater chemistry depending on outflows altitude (diameters of diagrams proportional to the dissolved components sums − mg·dm^{-3})

na wysokości 300–400 m n.p.m. Wraz ze wzrostem wysokości, wody stają się coraz kwaśniejsze: 6,24 pH (rzędne 400–500 m n.p.m.), 6,09 pH (500–600 m n.p.m.), 6,01 pH (600–700 m n.p.m.), aż do wartości 5,36 pH dla wypływów na rzędnych powyżej 700 m n.p.m. Należy jednocześnie stwierdzić, że trendowi temu nie towarzyszą istotne zmiany składu chemicznego. Wyjątkiem jest tu proporcja pomiędzy anionami HCO_3^- i SO_4^{2-}. Wydaje się, że wraz ze wzrostem rzędnej wypływu, udział jonu siarczanowego rośnie na niekorzyść jonu wodorowęglanowego.

Sezon poboru prób. Badania źródeł prowadzono dwukrotnie w sezonach letnich (1998 i 1999) i raz, w rozdzielającym je, sezonie zimowym. Porównanie składu chemicznego wód podziemnych ze źródeł w dwóch różnych porach roku nie wykazało istotnych różnic (ryc. 4.2.8). W obu przypadkach, wody te posiadają ten sam typ hydrochemiczny: SO_4HCO_3−CaMg. W sezonie letnim są one jednak nieco bardziej zmineralizowane (suma rozpuszczonych składników mineralnych wynosi 176 mg·dm^{-3}, podczas gdy zimą 160 mg·dm^{-3}). Wyraźna różnica sezonowa dotyczy właściwie wyłącznie temperatury wód. Latem, średnia temperatura wynosiła 9,3°C, a zimą 6,7ºC. Badania modelowe wykazały jednak, iż w sezon letni bardziej sprzyja procesom wietrzenia skał podłoża, w wyniku których wody podziemne wzbogacane są w różnorodny zestaw jonów (Stępień i in. 2001).



Ryc. 4.2.8. Sezonowe zróżnicowanie chemizmu wód źródeł (średnice diagramów proporcjonalne do sumy składników rozpuszczonych – mg·dm^{-3})
Fig. 4.2.8. Seasonal variability of spring water chemistry (diameters of diagrams proportional to the dissolved components sums − mg·dm^{-3})

Dyskusja

Badane zlewnie nie są szczególnie mocno zróżnicowane pod względem przyrodniczym. Różnią się jednak istotnie budową geologiczną i ukształtowaniem powierzchni terenu. Kryteria wydzieleń grup źródeł, według których można interpretować zmienność hydrochemiczną wód źródlanych, w kontekście wpływu czynników przyrodniczych, nie dają jednoznacznych wyników. Czasami, uzyskane w ten sposób informacje są obciążone efektem interferencji oddziaływań, który maskuje rzeczywisty wpływ jednego z czynników, reprezen-

towanego przez konkretne kryterium. Tak dzieje się z kryterium litologicznym i kryterium rzędnej wypływu. Wschodnia część badanego obszaru obejmuje wyniesione fragmenty Gór Złotych i Bardzkich. Część centralna, należąca do Gór Złotych, jest niżej położona, z wyjątkiem obszaru wododziałowego pomiędzy badanymi zlewniami. Średnia rzędna wypływu dla obszaru metamorfiku Lądka-Śnieżnika wynosi 607 m n.p.m., dla Gór Bardzkich – 572 m n.p.m., dla utworów osłony stropowej intruzji – 452 m n.p.m. a dla samej intruzji kłodzko-złotostockiej – 429 m n.p.m. Efektem nałożenia się obu kryteriów jest zaklasyfikowanie do tego samego typu hydrochemicznego wód podziemnych z metamorfiku i wód ze źródeł bijących na rzędnych z przedziału: 600−700 m n.p.m. – typ SO_4HCO_3−CaMg. Ten sam efekt uzyskujemy w przypadku wód podziemnych Gór Bardzkich i źródeł o rzędnych 500−600 m n.p.m. (typ SO_4−CaMg), a także wód z osłony stropowej intruzji i źródeł z przedziału rzędnych 400–500 m n.p.m. (typ HCO_3SO_4−CaMg).

Ta sama grupa wypływów może być wydzielana na podstawie różnych kryteriów, a więc i różnych naturalnych warunków czy procesów wpływających na chemizm wód podziemnych. Efekt wysokościowy związany jest najprawdopodobniej z gradientem opadów atmosferycznych (obszary położone wyżej otrzymują ich więcej) i z czasem kontaktu wód ze skałami wodonośców, przy czym na obszarach o zróżnicowanej morfologii czas ten jest relatywnie krótki. Infiltrujące opady atmosferyczne charakteryzują się małą mineralizacją i dominującym anionem siarczanowym (Sienkiewicz, Twarowski 1991). Powoduje to, że wraz ze wzrostem wysokości położenia wypływu wody stają coraz bardziej kwaśne i rośnie w nich przewaga jonu siarczanowego nad wodorowęglanowym. Zróżnicowanie chemizmu wód źródeł w czterech badanych jednostkach strukturalnych wynika ze zróżnicowania serii skalnych, spoiw oraz pokryw zwietrzelinowych o odmiennym składzie mineralnym.

Summary

Variability of spring water chemistry depending on selected natural factors based on the Ożarski Potok and Mąkolnica catchments (Middle and Eastern Sudety Mts)

Researches of grounwater chemistry were carried on in two catchments in Sudety Mts in the years 1998–1999. Except common characteristics the author also studied an influence of springs classification criteria (lithology, altitude, season of sampling) onto the groundwater chemistry. Researches of spring water chemistry gave many various and valued information about environment of water circulation. It is helpful to investigate trends of groundwater chemistry variability making the most of so many different division criteria. It also becomes helpful in identification of different processes influencing water chemistry. Sometimes chemical composition of groundwater can be a result of many different types of hydrogeochemical processes, so a hypotheses of groundwater chemistry origin should be made carefully.

Matysik Magdalena
Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej Obszarów Urbanizowanych, Uniwersytet Śląski
41-200 Sosnowiec, ul. Będzińska 60, mmatysik@wnoz.us.edu.pl

4.3. Chemizm i jakość wód wybranych źródeł w zlewni Białki Lelowskiej

Źródła, występujące na terenie zlewni Białki Lelowskiej są bardzo urozmaicone pod względem charakteru wypływu i form nisz źródlanych. Znajdują się tu źródła ascensyjne, należące do wyjątkowo cennych zjawisk pod względem poznawczym i krajobrazowym oraz pojedyncze źródła lub częściej zespoły źródeł, z których woda wpływa szczelinami skalnymi, na obszarach krasowych zwane często wywierzyskami. Na obszarze tym bardzo licznie występują także nieskoncentrowane wypływy wód podziemnych – młaki, często o dużych wydajnościach, a także liczne wycieki (Absalon, Matysik, 2005).

Do badań wytypowano osiem źródeł o największych wydajnościach i największych walorach przyrodniczych. Wykonano analizy chemiczne wód źródlanych, które objęły oznaczenia: kationów: Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+} i anionów: Cl^{-}, SO_4^{2-}, HCO_3^{-}, NO_3^{-}, PO_4^{3-} oraz: twardość ogólną, krzemionkę; metale: glin, bar, kadm, chrom, miedź, żelazo, mangan, nikiel, ołów, stront, cynk oraz badania mikrobiologiczne: liczbę bakterii grupy Coli i grupy Coli typu kałowego. W trakcie badań terenowych określano także odczyn pH, przewodność elektrolityczną oraz temperaturę wody źródlanej.

W zespołach źródeł woda do analiz chemicznych pobierana była z najbardziej wydajnego wypływu. W przypadku źródła „Rozlewisko" z początkowego wypływu i ze środka rozlewiska.

Położenie obszaru badań

Zlewnia Białki Lelowskiej położona jest około 30 km na południowy wschód od Częstochowy (ryc. 3.4.1). Obejmuje ona wschodni skłon Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej i przedpole kuesty górnokredowej, ograniczającej analizowany teren od wschodu. W świetle podziału Polski na jednostki fizyczno-geograficzne (Kondracki 1998) południowo-wschodnią część zlewni zajmuje fragment Wyżyny Częstochowskiej (341.31), wchodzącej w skład Wyżyny Śląsko-Krakowskiej. Pozostała część zaliczana jest do Wyżyny Małopolskiej, w obrębie której

wyróżnić można Próg Lelowski (342.13). Stanowi on pasmo wzgórz o wysokości dochodzącej do 340 m n.p.m., zbudowanych z monoklinalnie zapadających margli, opok, wapieni i piasków kredowych, na których zalegają utwory czwartorzędowe, w tym – znacznych rozmiarów płat lessów w okolicach Lelowa. Próg Lelowski rozcięty jest poprzecznie licznymi dolinami założonymi na uskokach (Nowak 1965).

Budowa geologiczna obszaru badań

W budowie geologicznej badanego obszaru biorą udział utwory jurajskie (malm), kredowe (od albu do mastrychtu) oraz utwory czwartorzędowe.

Jura górna (malm): wyniesiona część pasma Wyżyny zbudowana jest głównie z wapieni skalistych górnego oksfordu. Pozbawiona substancji ilastej facja, tworzy miękkie wapienie białe i zawiera konkrecje krzemieniste (Różycki 1960). Występuje tu również druga facja wapieni – płytowych z przewarstwieniami miękkich margli.

Kreda dolna (alb): centralna i wschodnia część Kotliny Lelowskiej powstała w strefie wychodni dobrze rozwiniętych piasków albu, które niezgodnie zalegają na wapieniach jury. Różycki (1937) wyróżnił: alb I, najstarsze ogniwo kredowe, w którym opisał ławice skał krzemionkowych, alb II – wykształcony w postaci brył kwarcytowego piaskowca i alb III – który tworzą bezwapniste piaskowce glaukonitowe.

Kreda górna (cenoman): w obrębie Kotliny rozwinięte są również luźne piaski cenomanu. Na obszarze Lelowa, są to margliste piaski glaukonitowe z fosforytami, które w kierunku północnym przechodzą w margle i iły (Kaziuk, Lewandowski 1980).

Kreda górna (turon): turon w dolnej części tworzą ją piaski margliste i margle piaszczyste. Wyższe piętra kredy mają liczne luki stratygraficzne. Te, które są reprezentowane, tworzą w dolnej partii margle, przechodzące miejscami w wyżej leżące margle krzemionkowe i wapienie margliste (Nowak 1965). Od południa wysoczyznę kredową obcina uskok, który dość znacznie przesuwa linię wychodni kredy.

Czwartorzęd: na wierzchowinie Wyżyny Częstochowskiej i Progu Lelowskiego leżą, związane ze skałami macierzystymi, pokrywy zwietrzelinowe oraz piaski i lessy. Dna dolin oraz subsekwentne obniżenie Białki Lelowskiej wyścielone są zwartym płaszczem utworów plejstoceńskich. Budują go głównie osady stożków napływowych. Osady czwartorzędowe mają znaczną miąższość dochodzącą do 30–40 m (Nowak 1970). W dolinach przeważają mady. Lokalnie, na wierzchowinach występują gliny zwałowe i iły warwowe.

Wody podziemne

Na terenie zlewni Białki Lelowskiej występują trzy piętra wodonośne: czwartorzędowe, kredowe i jurajskie.

Piętro czwartorzędowe stanowią piaszczyste i żwirowe warstwy wodonośne. W dolinach rzecznych i obniżeniach zwierciadło wody podziemnej występuje na ogół dość płytko, przeważnie w granicach 0–1 m p.p.t. Na pozostałym obszarze, gdzie miąższość utworów piaszczysto-żwirowych jest zróżnicowana, zwierciadło wody podziemnej kształtuje się na zmiennym poziomie, jednak nie głębiej niż 2,0 m p.p.t. Potencjalna wydajność studni ujmujących ten poziom wynosi od kilku do kilkunastu $m^3 \cdot h^{-1}$.

Według podziału hydrogeologicznego (Mapa Hydrogeologiczna Polski 1:200 000, ark. Kraków, 1985) zlewnia Białki Lelowskiej znajduje się w obrębie dwóch regionów:

- Nidziański region hydrogeologiczny; piętro kredowe występuje w północno-wschodniej części gminy. Poziom wodonośny związany jest z utworami kredy górnej (margle, wapieni, opoki – mastrychtu, kampanu i santonu). Jest to poziom szczelinowy występujący na głębokości do 200 m. Uzyskiwane wydajności są rzędu od kilku do kilkudziesięciu $m^3 \cdot h^{-1}$.
- Wieluńsko-krakowski region hydrogeologiczny; piętro jurajskie występuje w północno-zachodniej części gminy, tworzą je szczelinowate, spękane wapienie i margle. Są to wody podziemne szczelinowo-krasowe. Główny poziom użytkowy występuje na głębokościach od kilku do 100 m p.p.t. Przeciętne wydajności wahają się od kilku do 120 $m^3 \cdot h^{-1}$ (w dolinie Białki Lelowskiej). Zasilanie poziomu odbywa się drogą infiltracji wód atmosferycznych poprzez warstwy czwartorzędowe i kredowe lub bezpośrednio w strefie wychodni utworów górnojurajskich.

Poziomy: górnokredowy i górnojurajski spełniają kryteria Głównych Zbiorników Wód podziemnych (GZWP: 408-Cr-3, 326-J-3; Kleczkowski 1990):

- GZWP 408-Cr-3 (Niecka Miechowska NW); jest to zbiornik szczelinowo-porowy, występuje w marglach, opokach i wapieniach górnokredowych.
- GZWP 326-J-3 (Częstochowa E); warstwę wodonośną stanowią silnie spękane i skrasowiałe wapienie kredowate, skaliste, ławicowe. Jest to zbiornik charakteryzujący się niską odpornością na zanieczyszczenia przenikające z powierzchni, głównie z powodu braku izolującej pokrywy utworów czwartorzędowych. Brak izolacji zbiornika na znacznej powierzchni, przy obecności niewielkich nawet punktowych ognisk zanieczyszczeń i charakterystycznym krasowym i szczelinowym systemie przewodzenia powoduje, że najmniejsze nawet skażenie prowadzi do szybkiej i długotrwałej degradacji wód podziemnych.

Jakość wód powierzchniowych i podziemnych

Zagrożenie jakości wód podziemnych na terenie gminy Lelów jest powodowane przez:

- niski stopień kanalizacji gminy, co w efekcie prowadzi do niekontrolowanych, „dzikich" zrzutów ścieków bytowo-komunalnych bezpośrednio do gruntu lub wycieki z nieszczelnych szamb;
- spływy z nawożonych pól uprawnych;
- „dzikie" wysypiska śmieci;
- drogi i linie kolejowe;
- stacje i magazyny paliw;
- emisje zanieczyszczeń gazowych i pyłowych do atmosfery przenikające do gruntu z opadami atmosferycznymi.

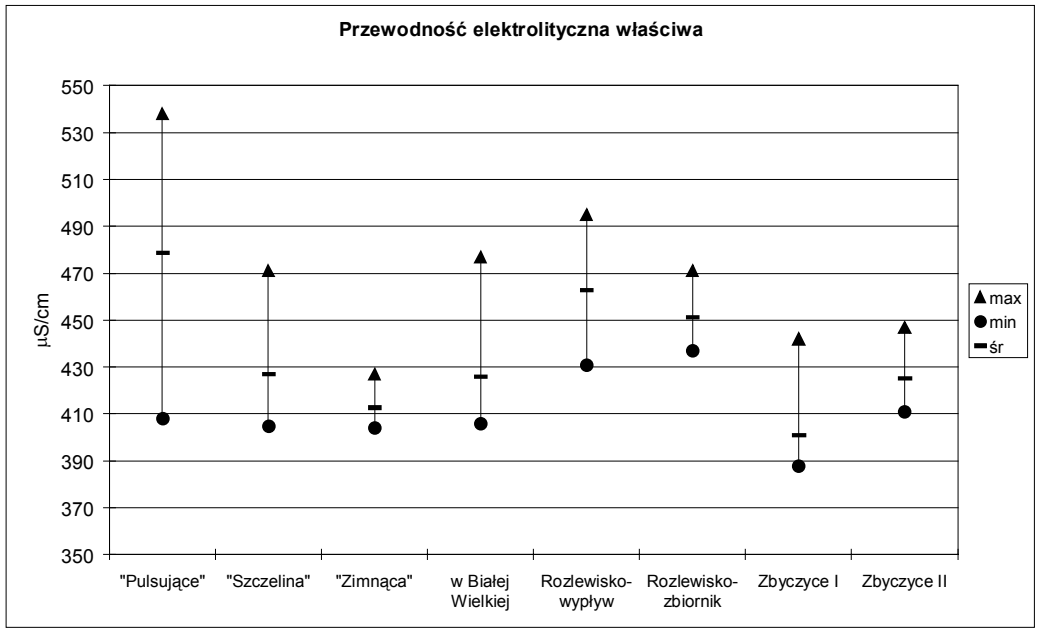
Analizę jakości wód podziemnych przeprowadzono na podstawie danych Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Katowicach. Na terenie gminy znajdują się punkty badawcze monitoringu wód podziemnych: studnia J-323 Lelów i studnia K-101 Mełchów.

Woda ze studni J-323 w Lelowie zaliczona została do klasy I – wody bardzo dobrej jakości. Wody ze studni K-101 w Mełchowie zaliczone zostały do klasy V – wody złej jakości (Rozp. Min. Środ. z 11 lutego 2004 r. „W sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód.). O zakwalifikowaniu wody do tej klasy zadecydowały wysokie stężenia wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych.

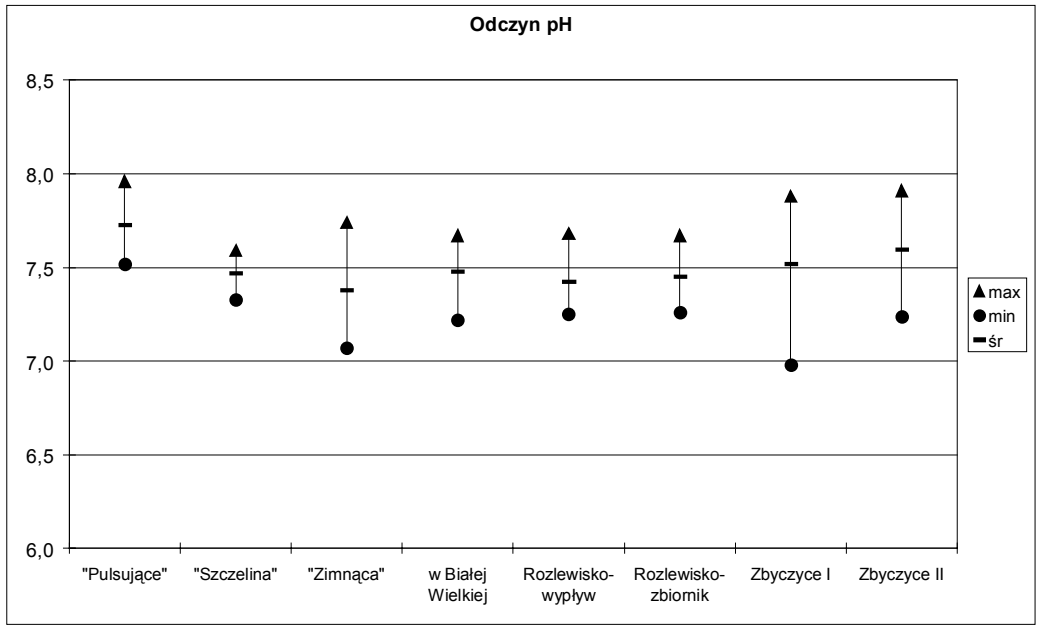
Wyniki badań

Wody badanych źródeł są wodami dwujonowymi – wodorowęglanowo-wapniowymi (HCO_3–Ca) (grupa 9). Wody zostały zakwalifikowane do tej grupy z powodu dominującego udziału w składzie jonowym tych pierwiastków. Okresowo, kiedy wrastał udział jonu magnezu, na tyle by stanowić o jej typie, wody zaliczane były do trzyjonowych wodorowęglanowo-magnezowo-wapniowych (HCO_3–Ca–Mg) (grupa 18). Sytuacja ta miała miejsce w wodach źródeł: „Zbyczyce II" (grudzień), „Szczelina" (kwiecień), „Zimnąca" (październik), „Rozlewisko"–zbiornik (czerwiec), źródło „Zbyczyce I" (luty, kwiecień).

Wody dwujonowe wodorowęglanowo-wapniowe, są wodami prostymi i mogą świadczyć o braku przeobrażenia wód podziemnych zasilających źródła na terenie gminy Lelów. Konduktywność wód badanych źródeł waha się w zakresie od 388 $\mu S \cdot cm^{-1}$ („Zbyczyce I") do 538 $\mu S \cdot cm^{-1}$ („Pulsujące") (ryc. 4.3.1)



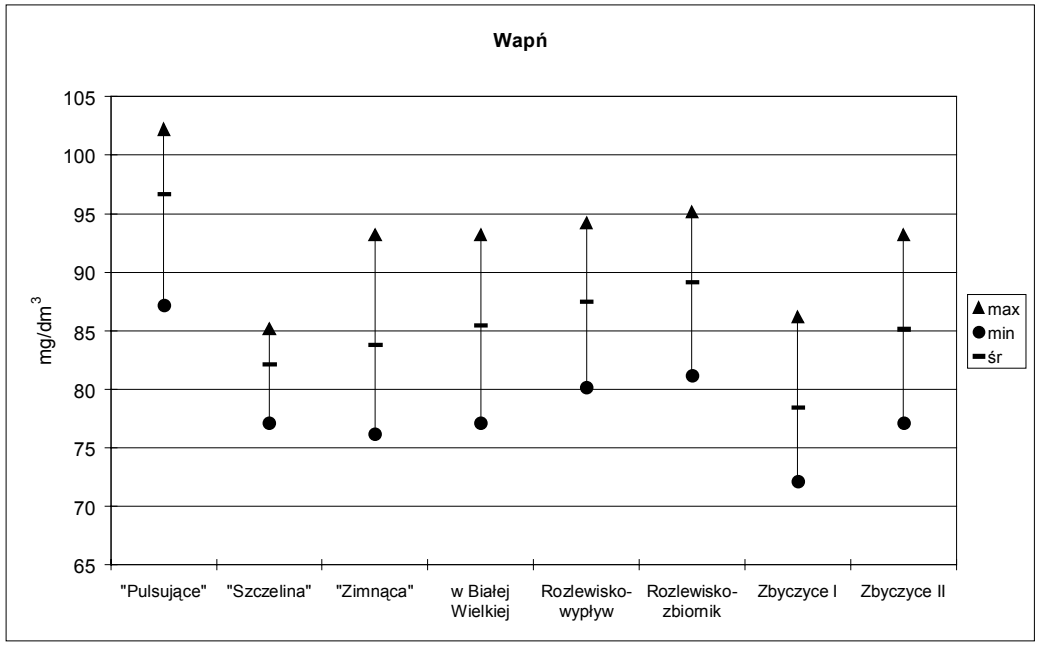
Ryc. 4.3.1. Średnia, minimalna i maksymalna przewodność elektrolityczna właściwa w wodach badanych źródeł
Fig. 4.3.1. Average, minimum and maximum values of electrical conductivity in the researched springs



Ryc. 4.3.2. Średni, minimalny i maksymalny odczyn wody badanych źródeł
Fig. 4.3.2. Average, minimum and maximum values of pH index in the researched springs

Wartości odczynu wody zawierają się w przedziale od 6,98 („Zbyczyce I") do 7,96 („Pulsujące") (ryc. 4.3.2). Najniższe pH wód źródlanych wystąpiły w czerwcu. W pozostałych miesiącach obserwacji przebieg pH nie wykazywał istotnych tendencji. Wysoki odczyn wód spowodowany jest środowiskiem skalnym o dużej zawartości węglanu wapnia; niewielkie spadki pH wody są zaś wynikiem dostawy wód roztopowych lub opadowych o niższym odczynie. Jednak środowisko skalne, w których krąży zasilająca woda źródła odznacza się dużą zdolnością do zobojętniania roztworu. Wody badanych źródeł według podziału ze względu na odczyn zaliczamy do słabo zasadowych (7<pH<9).

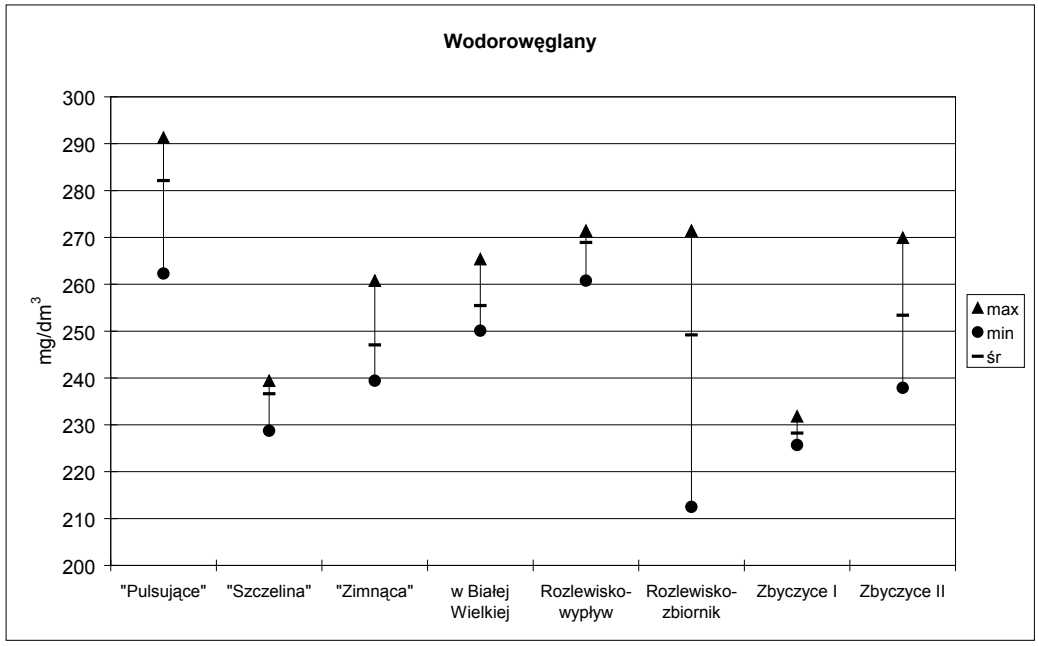
Wody badanych źródeł charakteryzują się dość wysoką zawartością jonu wapnia. Średnie stężenia zawierają się w przedziale od 78 mg·dm^{-3} („Zbyczyce I") do 97 mg·dm^{-3} („Pulsujące") (ryc. 4.3.3). W pozostałych źródłach średnia zawartość wapnia jest podobna i zawiera się w granicach 82−89 mg·dm^{-3}.



Ryc. 4.3.3. Średnie, minimalne i maksymalne stężenia wapnia w wodzie badanych źródeł
Fig. 4.3.3. Average, minimum and maximum calcium concentration in the researched springs

Badane źródła charakteryzują się dużą ilością wodorowęglanów w składzie jonowym wody. Najwyższe średnie stężenia wodorowęglanów notowane są w źródłach „Pulsujących" (282,13 mg·dm^{-3}) (ryc. 4.3.4). Drugim źródłem o najwyższej średniej zawartości wodorowęglanówjest „Rozlewisko"– wypływ (271,45 mg·dm^{-3}). Jednak w punkcie badawczym „Rozlewisko"– zbiornik średni udział

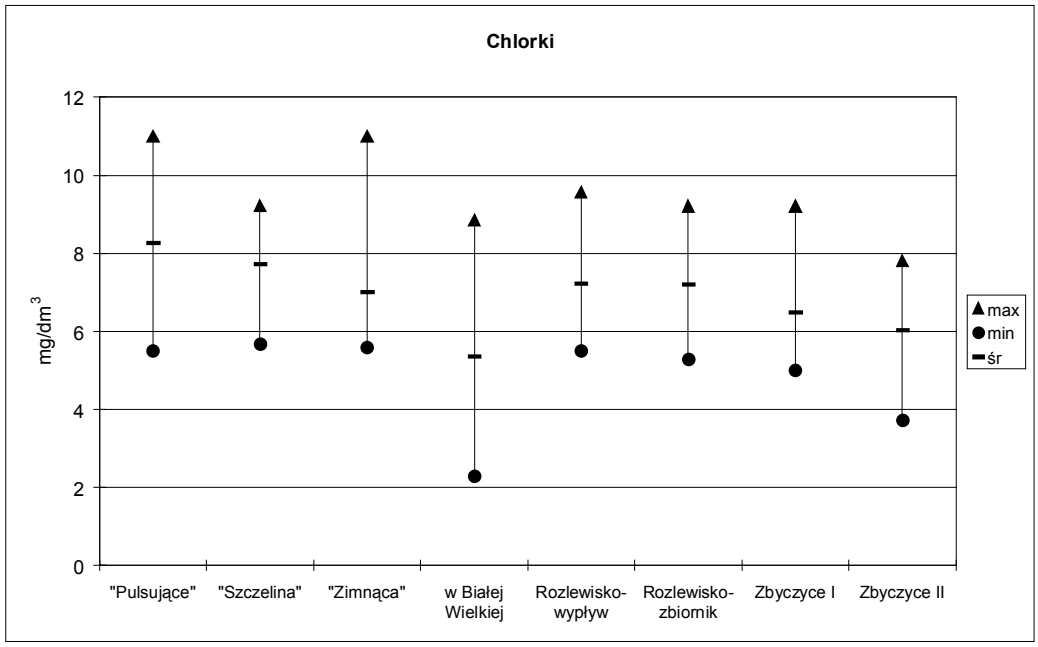
wodorowęglanów spada do poziomu 249,17 mg·dm^{-3}. W źródłach „Pulsujące" i „Rozlewisko"– zbiornik wyższe rozpiętości stężeń wodorowęglanów, mogą być wynikiem tego, że wypływy znajdują się pod lustrem wody powierzchniowej, która charakteryzuje się dużą zmiennością tego jonu.



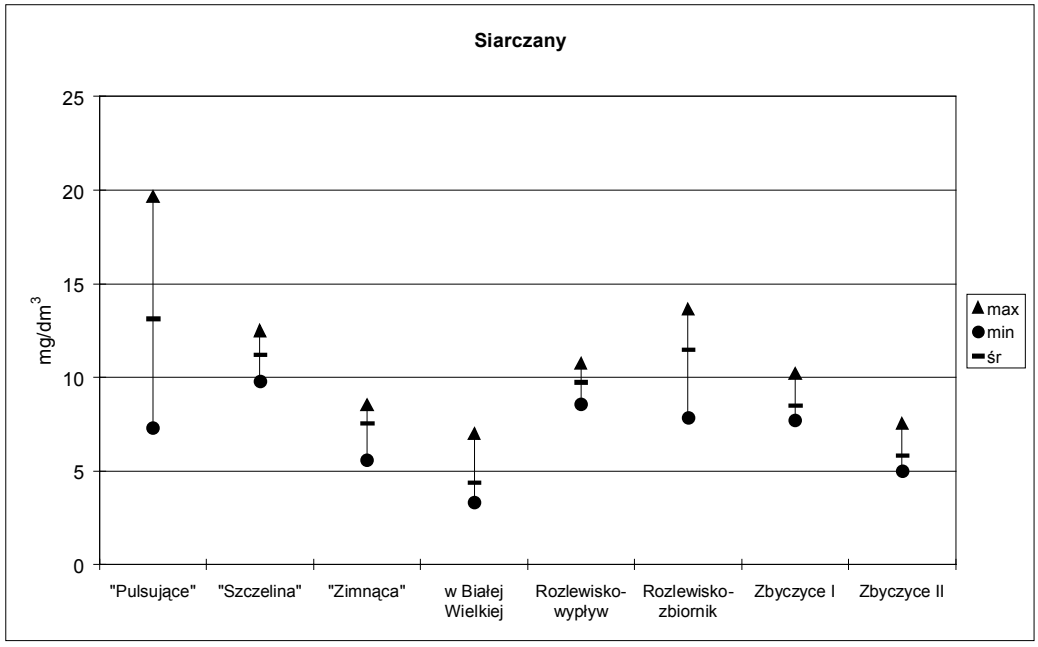
Ryc. 4.3.4. Średnie, minimalne i maksymalne stężenia wodorowęglanów w wodach badanych źródeł
Fig. 4.3.4. Average, minimum and maximum bicarbonates concentration in the researched springs

Wody badanych źródeł charakteryzują się niewielką zawartością chlorków; średnie stężenie waha się od 5,4 mg·dm^{-3} (źródła w Białej Wielkiej) do 8,3 mg·dm^{-3} („Pulsujące") (ryc. 4.3.5).

Udział siarczanów w składzie jonowym wody, podobnie jak chlorków, jest niewielki. Świadczy to o braku, w skałach wodonośnych, minerałów z udziałem siarki, lub ich małej ilości. Najwyższymi średnimi stężeniami charakteryzują się źródła: „Pulsujące" (13,2 mg·dm^{-3}), „Rozlewisko"– wypływ (11,5 mg·dm^{-3}) i „Szczelina" (11,2 mg·dm^{-3}) (ryc. 4.3.6). W przypadku pierwszych dwóch źródeł, wyższe wartości siarczanów, mogą być wynikiem tego, że wypływy znajdują się pod lustrem wody powierzchniowej o większym udziale siarczanów. Przy poborze prób trudno było uniknąć kontaktu tych wód z wodami źródeł. Najniższe stężenia siarczanów wystąpiły w źródłach w Białej Wielkiej, gdzie średnia wyniosła 4,4 mg·dm^{-3}. Maksymalne wartości zanotowano w okresie wiosennym,



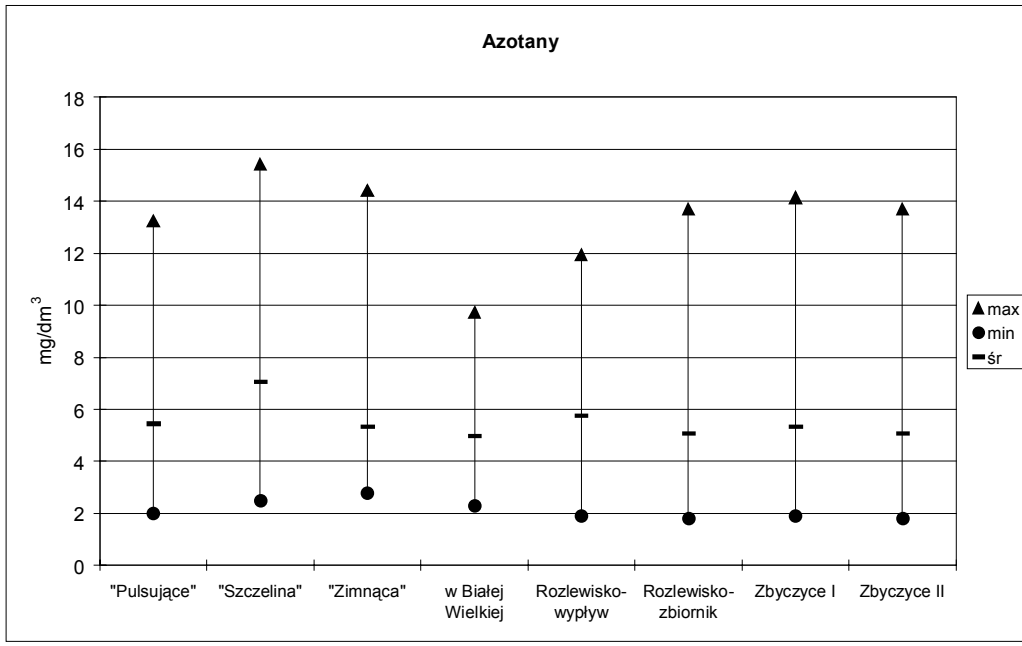
Ryc. 4.3.5. Średnie, minimalne i maksymalne stężenia chlorków w wodach badanych źródeł
Fig. 4.3.5. Mean, minimum and maximum chlorides concentration in the researched springs



Ryc. 4.3.6. Średnie, minimalne i maksymalne stężenia siarczanów w wodach badanych źródeł
Fig. 4.3.6. Average, minimum and maximum sulphates concentration in the researched springs

kiedy źródła zasilane były wodami roztopowymi, które zawierają w swoim składzie podwyższone ilości siarczanów.

Średnie stężenia azotanów w badanych źródłach zawierają się w przedziale od 5,0 mg·dm^{-3} (źródła w Białej Wielkiej) do 7,1 mg·dm^{-3} („Szczelina") (ryc. 4.3.7). Udział azotanów w wodach źródeł jest niewielki. Jedynie w lutym zanotowano wzrost azotanów we wszystkich źródłach. Maksymalna zawartość azotanów w tym czasie wynosiła 15,4 mg·dm^{-3} („Szczelina"). Może to świadczyć o incydentalnym zanieczyszczaniu wód podziemnych lub braku pobierania azotanów przez roślinność w zimie. Potwierdza to niski udział azotanów w składzie jonowym wód w następnych miesiącach obserwacji.

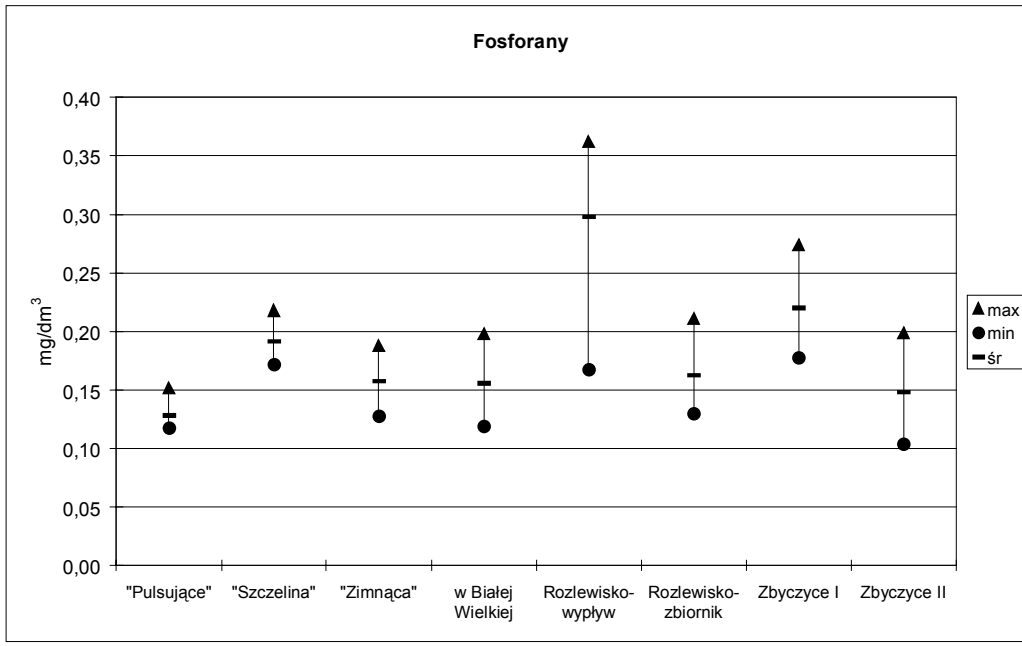


Ryc. 4.3.7. Średnie, minimalne i maksymalne stężenia azotanów w wodach badanych źródeł

Fig. 4.3.7. Average, minimum and maximum nitrates concentration in the researched springs

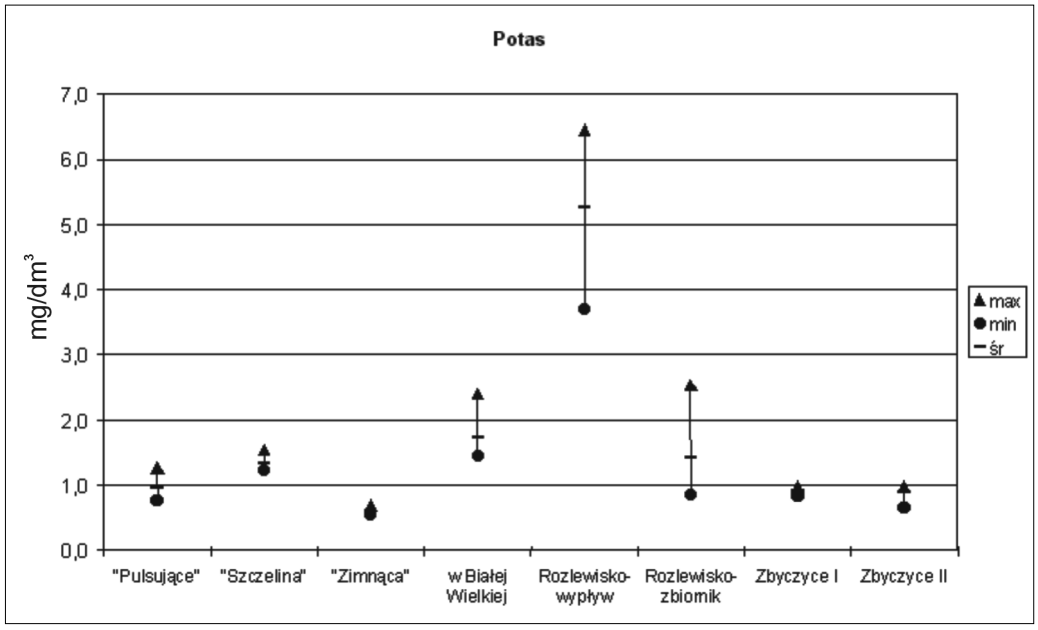
Udział fosforanów w wodach badanych źródeł jest podwyższony, a średnie stężenia wahają się od 0,13 mg·dm^{-3} („Pulsujące") do 0,30 mg·dm^{-3} („Rozlewisko"– wypływ) (ryc. 4.3.8). Podwyższone stężenia fosforanów mogą wynikać ze spływów z terenów zagospodarowanych rolniczo (nawozy fosforowe), ze zrzutów ścieków komunalnych, a także z powszechnie stosowanych środków detergentowych, które zawierają nawet do 50% (wagowo) tych jonów. W źródłach, których obszar zasilania położony jest w obrębie pól uprawnych („Zimnąca", „Pulsują-

ce"), stężenie tych jonów jest dwukrotnie mniejsze niż w źródłach położonych na terenach zabudowanych. W źródle „Rozlewisko"– wypływ, stężenia fosforanów są najwyższe, zaś w punkcie badawczym „Rozlewisko"– zbiornik, ich zawartość spada prawie o połowę (średnia 0,160 mg·dm^{-3}). Wynika to z faktu, że związek ten jest nietrwały i chętnie wykorzystywany przez roślinność. Podwyższone stężenia fosforanów w źródłach „Rozlewisko", świadczą o dopływie zanieczyszczeń z okolicznych gospodarstw. Drugim źródłem o podwyższonym stężeniu fosforanów jest źródło „Zbyczyce II". Tu również można stwierdzić zanieczyszczenie wód przez ścieki bytowe. Podwyższone stężenie fosforanów w źródłach, z wyjątkiem źródeł: „Rozlewisko"– wypływ i „Zbyczyce II", może być również wynikiem naturalnego występowania fosforytów w utworach kredy górnej (margliste piaski glaukonitowe z fosforytami – w których składzie przeważają fosforany P_2O_5).



Ryc. 4.3.8. Średnie, minimalne i maksymalne stężenia fosforanów w badanych źródeł
Fig. 4.3.8. Average, minimum and maximum phosphates concentration in the researched springs

Zawartość potasu jest zwykle niewielka, z wyjątkiem źródła „Rozlewisko"– wypływ, gdzie średnie stężenie tego jonu wyniosło 5,28 mg·dm^{-3}. Maksymalne średnie stężenia wynosiły 1,74 mg·dm^{-3} (źródła w Białej Wielkiej), najniższe dotyczyły zaś „Zimnącej" (0,62 mg·dm^{-3}) (ryc. 4.3.9). Potas jest również związkiem biogennym i charakterystycznym dla ścieków komunalnych. Podwyższone jego stężenia w źródle „Rozlewisko"– wypływ, potwierdzają fakt, że wody tego źródła zanieczyszczane są ściekami komunalnymi.



Ryc. 4.3.9. Średnie, minimalne i maksymalne stężenia potasu w badanych źródłach
Fig. 4.3.9. Average, minimum and maximum potassium concentration in the researched springs

Wody badanych źródeł zaliczamy w większości do klasy 2, ze względu na przekroczenie dopuszczalnych stężeń chromu, miedzi i ołowiu. W klasie 1 znalazły się okresowo (przy stężeniach minimalnych) wody źródeł: „Pulsujących", źródeł w Białej Wielkiej. Do klasy 3 zaliczono wody „Rozlewiska"– wypływ ze względu na przekroczenie stężenia kadmu. W klasie 4 – wód niezadowalającej jakości, okresowo zaliczono wody źródeł (przy stężeniach maksymalnych): „Szczelina", źródła w Białej Wielkiej, „Rozlewisko"– wypływ, „Zbyczyce II". Zadecydowały o tym stężenia kadmu i miedzi (tab. 4.3.1).

Pod względem przydatności do spożycia, wody badanych źródeł odpowiadają normom w zakresie wskaźników fizykochemicznych, z wyjątkiem stężeń maksymalnych kadmu, zanotowanych w źródłach: „Szczelina", w Białej Wielkiej, „Rozlewisko"– wypływ. Jednak w wyniku ponadnormatywnych ilości bakterii Coli i Coli typu kałowego wody te nie nadają się także do spożycia (tab. 4.3.2).

Tabela 4.3.1.

Zestawienie wskaźników fizykochemicznych decydujących o jakości wody badanych źródeł
Physical and chemical indexes deciding about water quality in the researched springs

Źródło	Wskaźniki decydujące o jakości wody	Klasa czystości
Źródła „Pulsujące”	NO_3^-, Al, Cr, Cu, Pb, Ba	2
„Szczelina	NO_3^-,PO_4^{3-}, Al, Cd, Cr, Cu, Pb, Ba	4
„Zimnąca”	NO_3^-, Al, Cr, Cu, Pb, Ba	2
Źródła w Białej Wielkiej	PO_4^{3-}, Al, Cd, Cr, Cu, Pb, Ba	4
„Rozlewisko”-wypływ	NO_3^-,PO_4^{3-}, Al, Cd, Cr, Cu, Pb, Ba	3
„Rozlewisko”-zbiornik	NO_3^-,PO_4^{3-}, Al, Cd, Cr, Cu, Pb, Ba	2
Źródło „Zbyczyce I”	NO_3^-,PO_4^{3-}, Al, Cr, Cu	2
Źródło „Zbyczyce II”	NO_3^-,PO_4^{3-}, Al, Cd, Cr, Cu, Pb, Ba	4

Tabela 4.3.2.

Zestawienie wskaźników mikrobiologicznych
Microbiological indexes

Wskaźnik	Źr. Pulsujące”	„Szczelina”	„Zimnąca”	Źr. w Białej Wielkiej	„Rozlewisko”-wypływ	„Rozlewisko”-zbiornik	Źr. „Zbyczyce I”	Źr. „Zbyczyce II”
Miano Coli	0,8	4	17	4	2	0,4	4	0,4
Miano Coli t.k.	2	>20	>20	4	>20	17	4	0,4
Liczba bakt. gr. Coli	130	23	6	23	62	230	23	230
Liczba bakt. gr Coli t.k.	62	<5	<5	23	<5	6	23	230

Podsumowanie

Zanieczyszczenia wód bakteriami grupy Coli i Coli typu kałowego w badanych źródłach, świadczą o dopływie zanieczyszczeń bytowo-gospodarczych do warstwy wodonośnej, z której są zasilane. Potwierdza to również podwyższona zawartość fosforanów w źródłach „Rozlewisko”– wypływ i „Zbyczyce I”.

W wodach badanych źródeł stwierdzono również podwyższoną koncentrację metali: baru, glinu, ołowiu i chromu. O ile podwyższona zawartość glinu, baru czy też ołowiu jest najprawdopodobniej pochodzenia geogenicznego (związki ołowiu mogą być także wymywane przez opady atmosferyczne z zanieczyszczeń powietrza), to podwyższona koncentracja chromu w wodach podziemnych,

zasilających źródła, jest antropogeniczna. Może ona wynikać z niewłaściwego składowania odpadów zawierających ten metal, lub też z nielegalnych wylewisk ścieków o wysokiej zawartości chromu (z galwanizerni, garbarni). Charakter wód podziemnych tego obszaru sprzyja szybkiej migracji i znacznemu rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń.

Summary

Chemical parameters and water quality of selected springs in the Białka Lelowska catchment

The Białka Lelowska catchment is located about 30 kilometres south-east of Częstochowa, east of the northern part of the Kraków-Częstochowa Upland, encompassing eastern slope of the Upper Cretaceous cuesta foreland what is limitting the studied area to the east. In the light of the division of Poland into physical and geographic units (Kondracki, 1998) the south-eastern part of the catchment coincides with a part of the Częstochowa Upland (341.31). The remaining parts belongs to the Małopolska Upland, where the Lelowski Sill can be found (342.13).

Research included eight springs with the highest yield and the most interesting natural qualities. Samples of water for analyses were taken in the hydrologic year 2005 in monthly intervals. Metal content was determined three times during the year and microbiological tests including the number of E. coli and fecal coli bacteria were cariied on twice (in winter and in summer).

Chemical analyses concerned cations: Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+} and anions: Cl^{-}, SO_4^{2-}, HCO_3^{-}, NO_3^{-}, PO_4^{2-} as well as total hardness and silica; metals: aluminium, barium, cadmium, chromium, copper, iron, manganese, nickel, lead, strontium, zinc and the microbiologic tests including the number of E. coli and fecal coli bacteria. In the course of field research pH index, electrical conductivity and temperature of spring waters were also determined.

The waters in the researched springs belong to the two-ion type – bicarbonate and calcium (HCO_3^{-}–Ca^{2+}). The two-ion simple waters testify that there was no evidence for transformation of groundwater recharging the springs in the Białka Lelowska catchment.

However, higher values of the following metals were found in the waters of the researched springs: barium, aluminium, lead, chromium, cadmium and copper. The contamination of spring waters with E. coli and fecal coli bacteria is the evidence of the inflow of domestic wastes into the water-bearing horizon recharging springs. Elevated phosphates content also confirms this. The above factors are the evidence of progressive contamination of groundwater.

Małgorzata Stolarska
Piotr Moniewski
Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej, Uniwersytet Łódzki
90-139 Łódź, ul. Narutowicza 88, malgo100@tlen.pl, moniek@geo.uni.lodz.pl

4.4. Podstawowe właściwości fizykochemiczne wód w niszy źródliskowej Rosanów I[2]

Wprowadzenie

Badania źródlisk położonych na obszarze Wzniesień Łódzkich od kilku już lat prowadzi zespół badawczy Zakładu Hydrologii i Gospodarki Wodnej Uniwersytetu Łódzkiego (ZHiGW UŁ). Szczegółowo rozpoznano m.in.: warunki hydrogeologiczne, dynamikę wydatku oraz własności fizykochemiczne wód (Jokiel 2002; Jokiel, Moniewski 2000; Moniewski 1997, 2004; Stolarska 2006; Walisch 2003). Szeroki wachlarz zdiagnozowanych, hydrologicznych cech podłódzkich źródeł rozszerzono o podjętą w prezentowanym rozdziale analizę przestrzennej zmienności podstawowych właściwości fizykochemicznych wody i wydatku poszczególnych wypływów znajdujących się w obrębie niszy źródliskowej Rosanów I.

Decyzja o podjęciu badań nad fizykochemicznym zróżnicowaniem wód wypływów w obrębie niszy źródliskowej została podjęta w celu rozstrzygnięcia problemu, pojawiającego się w badaniach krenologicznych, a dotyczącego właściwego doboru punktów pomiarowych. W literaturze spotykane są dwa zasadnicze sposoby podejścia do badań nad fizykochemicznymi i ilościowymi aspektami wód wypływających w źródliskach. Pierwsze, zakłada prowadzenie pomiarów poniżej całego źródliska – w przekroju zlokalizowanym na strudze odpływającej z niszy. Otrzymane tą drogą wyniki traktowane są jako przeciętny obraz właściwości wód poziomu wodonośnego drenowanego w danym źródlisku. Alternatywne podejście, często spotykane w publikacjach, polega na prowadzeniu pomiarów tylko w jednym, wybranym wypływie w obrębie źródliska. Zakłada się przy tym, iż woda, która w nim bije posiada właściwości reprezentatywne dla wszystkich wypływów.

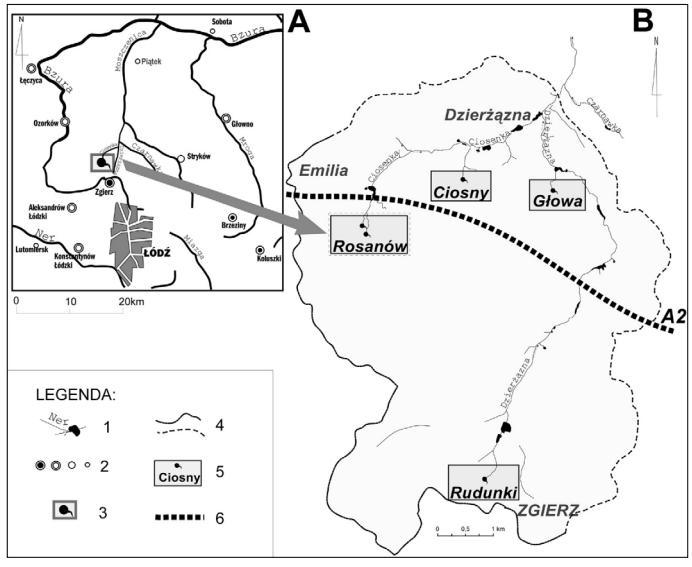
Wobec powyższego, nasuwa się pytanie: czy przekrój zamykający oraz wszystkie wypływy, zlokalizowane w obrębie niszy źródliskowej, rzeczywi-

[2] Zrealizowano w ramach projektu MNiI: 2P04E02929

ście charakteryzują się identycznymi lub bardzo zbliżonymi do siebie cechami wody? W celu zbadania słuszności stosowanych w krenologii kryteriów doboru punktów pomiarowych, w źródlisku Rosanów I przeprowadzono kartowanie hydrochemiczne wypływów wód podziemnych (lipiec 2005 r.). W każdym wypływie znajdującym się w obrębie niszy (źródła, wycieki), a także w przekroju zamykającym, wykonano pomiary podstawowych cech fizykochemicznych wody (temperatura, konduktywność – SEC, odczyn, stężenie tlenu rozpuszczonego). Dodatkowo w każdym z tych punktów, przeprowadzono pomiary wydajności oraz określono właściwości najbliższego otoczenia (tj. typ roślinności, bliskość zabudowań, ogniska zanieczyszczeń). W opracowaniu wykorzystano także dwuletnie serie terminowych pomiarów: temperatury, konduktywności, odczynu wody oraz wydajności (okres 2004–2005). Pomiary te wykonywano co dwa tygodnie, w trzech stałych punktach zlokalizowanych w obrębie niszy Rosanów I – w przekroju zamykającym oraz w dwóch źródłach: jednym descensyjnym i jednym ascensyjnym (obudowanym).

Obszar badań

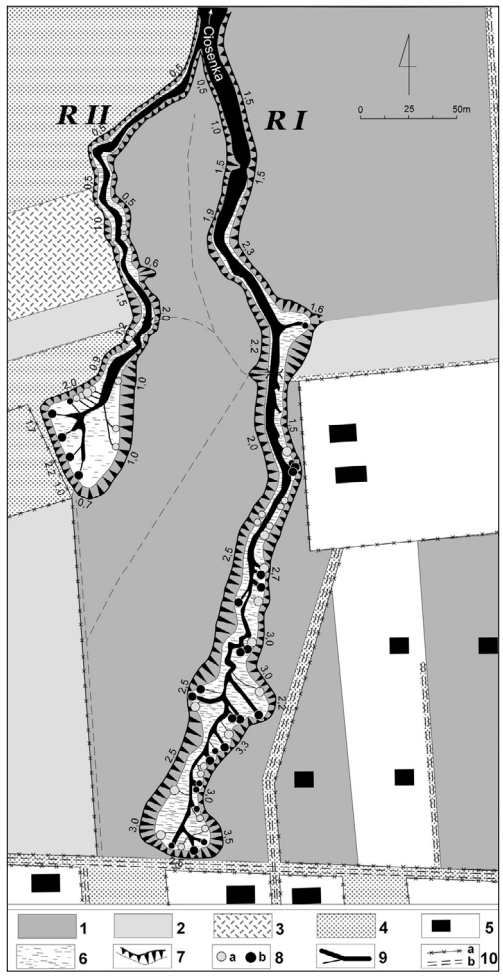
Wzniesienia Łódzkie są obszarem predysponowanym, pod względem geomorfologicznym i hydrogeologicznym, do występowania licznych wypływów wód podziemnych (Maksymiuk 1977; Moniewski 1997). Dowodem istniejącego tutaj „krenologicznego bogactwa" są m.in. cztery nisze źródliskowe: Rudunki, Głowa, Ciosny, Rosanów, położone w zlewni Dzierżąznej (dorzecze Moszczenicy; ryc. 4.4.1). W każdej z nich stwierdzono występowanie od kilku do kilkudziesięciu źródeł oraz nieskoncentrowanych wypływów wód podziemnych.



Ryc. 4.4.1. Lokalizacja źródliska Rosanów I
1 – sieć rzeczna i zbiorniki wodne, 2 – miasta, 3 – źródlisko Rosanów, 4 – działy wodne zlewni badawczej ZHiGW UŁ, 5 – nisze źródliskowe zlewni badawczej, 6 – autostrada A2
Fig. 4.4.1. Position of the Rosanów I large spring
1 – streams network and water reservoirs, 2 – cities, 3 – the Rosanów large spring, 4 – watersheds of the ZHiGW UŁ researched catchment, 5 – spring niches in the researched catchment, 6 – A2 motorway

Spośród wyżej wymienionych źródlisk na szczególną uwagę zasługuje nisza w Rosanowie. Cechuje ją duża liczba wypływów (ponad 25 źródeł i 31 wycieków) oraz imponująca, jak na warunki środkowej Polski, powierzchnia wynosząca ponad 1,3 ha (Moniewski 2004). Jednakże największym walorem źródliska Rosanów, stanowiącym o jego wyjątkowości, jest bardzo duża wydajność. Z badań prowadzonych od 1998 roku wynika, iż w tej części kraju jest to najwydajniejsze źródlisko drenujące wody czwartorzędowych poziomów wodonośnych. Jego przeciętna wydajność, wynosząca około 50 $dm^3 \cdot s^{-1}$, stawia je na drugim miejscu, tuż za Niebieskimi Źródłami (około 80 $dm^3 \cdot s^{-1}$ za Małecką 1997a). Tak duży i na dodatek stabilny (C_v=13,3%; $R_{Mailete'a}$<2) wydatek źródliska jest uwarunkowany drenażem wód bardzo zasobnego poziomu wodonośnego, wykształconego w piaszczysto-żwirowych osadach rozległego sandru grotnicko-lućmierskiego (Jokiel 2002).

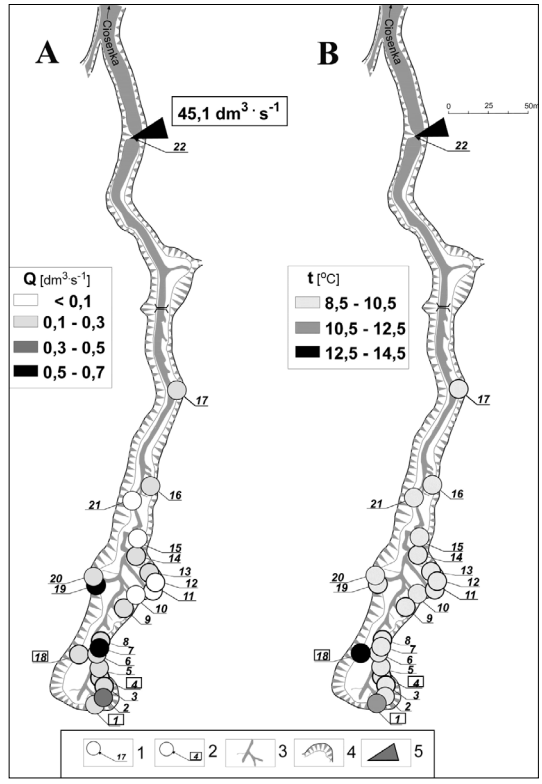
Źródlisko w Rosanowie składa się z dwóch południkowo wydłużonych nisz: większej, wschodniej zwanej Rosanów I oraz mniejszej niszy zachodniej – Rosanów II (ryc. 4.4.2). Wody wypływające z obu nisz łączą się ze sobą dając początek Ciosence, będącej głównym, lewobrzeżnym dopływem Dzierżąznej. W najbliższym otoczeniu źródliska dominują lasy sosnowe i mieszane oraz tereny działek leśnych z zabudową rekreacyjną.



Ryc. 4.4.2. Schemat źródliska Rosanów.
1 – lasy, 2 – młodniki, 3 – pastwiska, 4 – nieużytki, 5 – zabudowa rekreacyjna i mieszkalna, 6 – podmokłości, 7 – zbocza niszy (wysokość krawędzi w m), 8: a − wycieki, b − źródła, 9 – cieki stałe, 10: a − ogrodzenia, b − drogi i ścieżki; RI – nisza wschodnia Rosanów I, RII – nisza zachodnia Rosanów II
Fig. 4.4.2. Scheme of the large spring in Rosanów
1 – forests, 2 – thickets, 3 – pastures, 4 – wastelands, 5 – recreation and urban areas, 6 – wetlands, 7 – niche slopes (height of edges in meters), 8: a − spring sappings, b – springs, 9 – perennial streams, 10: a − fences, b − roads and paths; RI – the Rosanów I spring, RII – the Rosanów II spring

Wyniki

W ramach przeprowadzonego latem kartowania hydrochemicznego niszy Rosanów I (5 VII 2005), zbadano 21 wypływów wód podziemnych, w tym 18 źródeł oraz 3 wycieki (ryc. 4.4.3). Niemal wszystkie skartowane obiekty charakteryzowały się descensyjnym napływem wód. Wyjątkiem jest ascensyjne źródło numer 17. W obrazie przestrzennego rozmieszczenia źródeł i wycieków stwierdzono istnienie wyraźnej dysproporcji między liczbą wypływów bijących u podnóża wschodniej i zachodniej krawędzi niszy. Najmniej źródeł i wycieków wypływa u stóp wschodniego zbocza źródliska. Zachodnia strona niszy jest uboższa pod tym względem, przy czym udział wycieków, których wydajność trudno zmierzyć, jest tu większy (ryc. 4.4.2, 4.4.3).

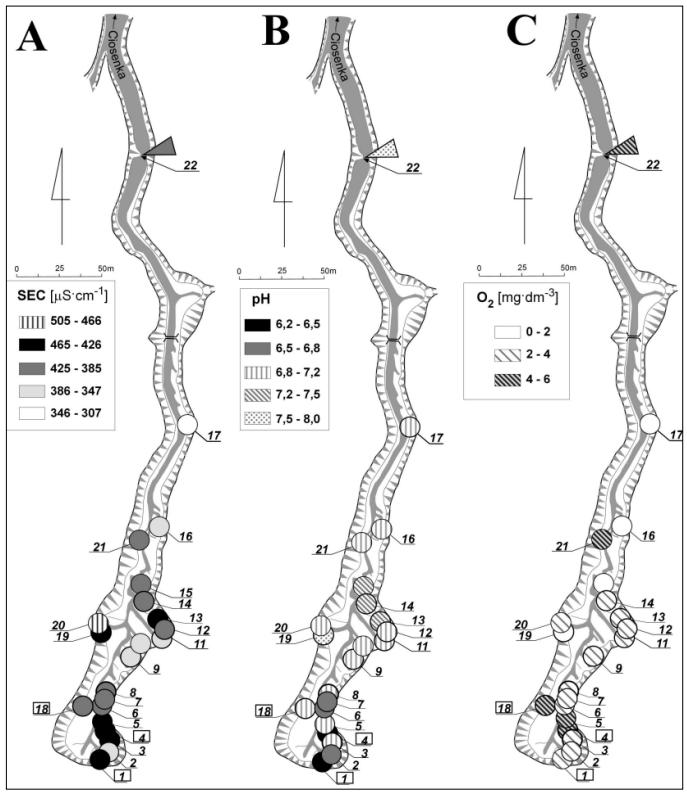


Ryc. 4.4.3. Wydajność i temperatura wody w zbadanych wypływach niszy Rosanów I
A – zróżnicowanie przestrzenne wydatku wypływów, B – zróżnicowanie przestrzenne temperatury wody wypływów, 1 – źródła, 2 – wycieki, 3 – stałe strugi, 4 – zbocza niszy, 5 – przekrój zamykający
Fig. 4.4.3. Discharge and water temperature of the controlled springs and spring sappings in the Rosanów I niche
A – spatial variability of discharge, B – spatial variabilty of water temperature, 1 – springs, 2 – spring sappings, 3 – perennial streams, 4 – niche slopes, 5 – closing profile

W dniu kartowania, wydajności zbadanych wycieków zawierały się w przedziale 0,05–0,12 $dm^3 \cdot s^{-1}$, natomiast średni wydatek źródeł był równy 0,2 $dm^3 \cdot s^{-1}$. Spośród wypływów skoncentrowanych, największą wydajnością (0,6 $dm^3 \cdot s^{-1}$), cechowały się źródła numer 19 oraz 7. Przeciętna wydajność wszystkich zmierzonych wypływów wyniosła 0,2 $dm^3 \cdot s^{-1}$, a ich sumaryczny wydatek był równy 3,82 $dm^3 \cdot s^{-1}$. Stanowiło to zaledwie 8,5% całkowitej wydajności źródliska Rosanów I (45,1 $dm^3 \cdot s^{-1}$).

Przeprowadzone badania fizykochemicznych cech wód w niszy źródliskowej w Rosanowie wykazały między innymi, iż temperatura wody w jej obrębie

jest mało zmienna oraz silnie skorelowana z typem wypływu. We wszystkich źródłach temperatura wody była zbliżona do 9°C. Natomiast wody trzech zmierzonych wycieków były wyraźnie cieplejsze i przyjmowały wartości z przedziału 10–13°C. Pomiar temperatury wykonany w przekroju zamykającym niszę wykazał, iż wody są tu cieplejsze o 3°C od wód źródlanych (ryc. 4.4.3B).



Ryc. 4.4.4. Konduktywność, odczyn i zawartość tlenu rozpuszczonego w wodach zbadanych wypływów wód podziemnych w niszy Rosanów I
Zróżnicowanie przestrzenne: A – konduktywności wody, B – odczynu wody, C – zawartości tlenu rozpuszczonego w wodzie; pozostałe objaśnienia jak na ryc. 4.4.3
Fig. 4.4.4. Conductivity, pH reaction and dissolved oxygen content of the controlled groundwater outflows in the Rosanów I niche
Spatial variability of: A – conductivity, B – pH reaction, C – dissolved oxygen content; for other explanations see Fig. 4.4.3

Przewodność elektrolityczna właściwa wody zmierzona w opisywanych wypływach wskazuje na niską mineralizację ogólną drenowanych wód podziemnych. Uzyskane odczyty zawierają się w granicach: od 320 do 505 µS·cm^{-1}. Warto podkreślić, że konduktywność wody, zmierzona w przekroju zamykającym niszę Rosanów I wyniosła dokładnie tyle samo, co średnia dla wszystkich zmierzonych wypływów: 406 µS·cm^{-1}. Najniższą przewodnością wody cechowało się źródło ascensyjne (numer 17: 324 µS·cm^{-1}). Niska konduktywność wody tego źródła wynika z faktu, iż drenowany przez nie poziom wodonośny jest izolowany od wpływów antropogenicznych przez ponad półmetrową warstwę mułków zastoiskowo-jeziornych. W pozostałych wypływach, konduktywność wody była wyższa przeciętnie o około 90 µS·cm^{-1}. Względnie wysoką przewodność elektrolityczną wody odnotowano w źródle numer 20 (SEC>500 µS·cm^{-1}), biją-

cym w zachodniej części niszy. Jest ona wynikiem oddziaływania, istniejącego tuż ponad wypływem, niewielkiego, lokalnego wysypiska śmieci. Podwyższona konduktywność uzyskana dla wód wypływów w południowej części źródliska, również wskazuje na istnienie dopływu zanieczyszczeń antropogenicznych (doły chłonne i nieszczelne szamba). Należy wyraźnie zaznaczyć, iż południowa część niszy Rosanów I jest nieustannie zaśmiecana, dzięki bezpośredniemu sąsiedztwu terenów rekreacyjnych oraz zabudowy jednorodzinnej.

Wyniki pomiarów odczynu wody, uzyskane w trakcie przeprowadzonego kartowania hydrochemicznego wykazały zbieżność z wcześniej opublikowanymi rezultatami badań Moniewskiego (2004). Odczyn wody przyjmował wartości od 6,4 do 8,0 (ryc. 4.4.4B). Najbardziej zasadowe wody, w zbadanej grupie wypływów, posiadało źródło numer 19, odznaczające się jednocześnie dużą wydajnością. Słabo kwaśny odczyn wody występował w wyciekach położonych w południowo-wschodniej części źródliska. Także źródła sąsiadujące z wyżej wymienionymi wyciekami wykazały odczyn słabo kwaśny. Pozostałe zbadane wypływy wód podziemnych cechowały się odczynem zbliżonym do obojętnego. W strudze odpływającej ze źródliska odczyn wody był nieco wyższy (pH 7,6) od średniej obliczonej na podstawie pomiarów we wszystkich wypływach (pH 7,1). Uwzględniając odczyn i konduktywność wody, w południowo-wschodniej części niszy Rosanów I wydzielono strefę wypływów charakteryzujących się względnie wysokim przewodnictwem elektrolitycznym i pH poniżej 7 (ryc. 4.4.4A i 4.4.4B).

Kolejną, zbadaną cechą fizykochemiczną wód wschodniego źródliska w Rosanowie, była zawartość tlenu rozpuszczonego. Względnie dużym nasyceniem tlenem, charakteryzowały się wody: dwóch z trzech zbadanych wycieków (4, 18) oraz wody dwóch źródeł: 5, 21 (powyżej 5 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$). Wysoki poziom nasycenia wód tlenem odnotowano również w przekroju zamykającym niszę (22). Natomiast najmniejszą jego zawartość, poniżej 1,5 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$, odnotowano w wodach wypływu ascensyjnego (17) oraz w trzech źródłach (15, 16, 19). Warto podkreślić, iż niskiej zawartość tlenu w wodach źródeł numer 15, 16, 17 towarzyszyła jednocześnie temperatura wody równa dokładnie 9,0°C oraz konduktywność poniżej 400 $\mu S \cdot cm^{-1}$. Wszystko to wskazuje, iż wody tychże źródeł pochodzą z drenowania głębszego, izolowanego poziomu wodonośnego. Pozostałe wypływy niszy Rosanów I wyprowadzały wody natlenione w stopniu od 2 do 4 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$. Uzyskane wyniki porównano z rezultatami badań przeprowadzonych przez Porowską (2004) w wodach gruntowych zgromadzonych w wodonoścu piaszczystym (wydma). Potwierdzono wniosek, iż większa zawartość tlenu rozpuszczonego w wodach wypływów drenujących nieizolowany poziom sandrowy wynika, przede wszystkim, ze stosunkowo szybkiej infiltracji zasobnych w tlen wód opadowych.

Przeprowadzony w latach 2004 i 2005 monitoring podstawowych cech fizykochemicznych wód źródliska Rosanów I, wskazał na istnienie quasi-stałego przebiegu zmian temperatury wody w zbadanych źródłach (numer 7 i 17). Wyznaczone dla obu źródeł współczynniki zmienności przyjęły wartości poniżej 5% (tab. 4.4.1). Z uwagi na istniejącą obudowę wokół wypływu ascensyjnego (17) jego wody cechowała nieco większa dynamika zmian temperatury, niż wody źródła numer 7. Wyraźnie sezonowy charakter zmian zaobserwowano w przebiegu temperatury wód odpływających z niszy (ryc. 4.4.5A). Zebrane w podanym dwuleciu wyniki pomiarów temperatury wody w przekroju zamykającym niszę, posiadły przebieg zbliżony do sezonowego rytmu zmian temperatury notowanego w wodach powierzchniowych (Jokiel, Tomalski 2005; Stolarska, Frątczak 2005). Wobec powyższego można stwierdzić, że głównym czynnikiem kształtującym sezonowość zmian temperatury wody w przekroju zamykajacym niszę jest temperatura powietrza.

Tabela 4.4.1

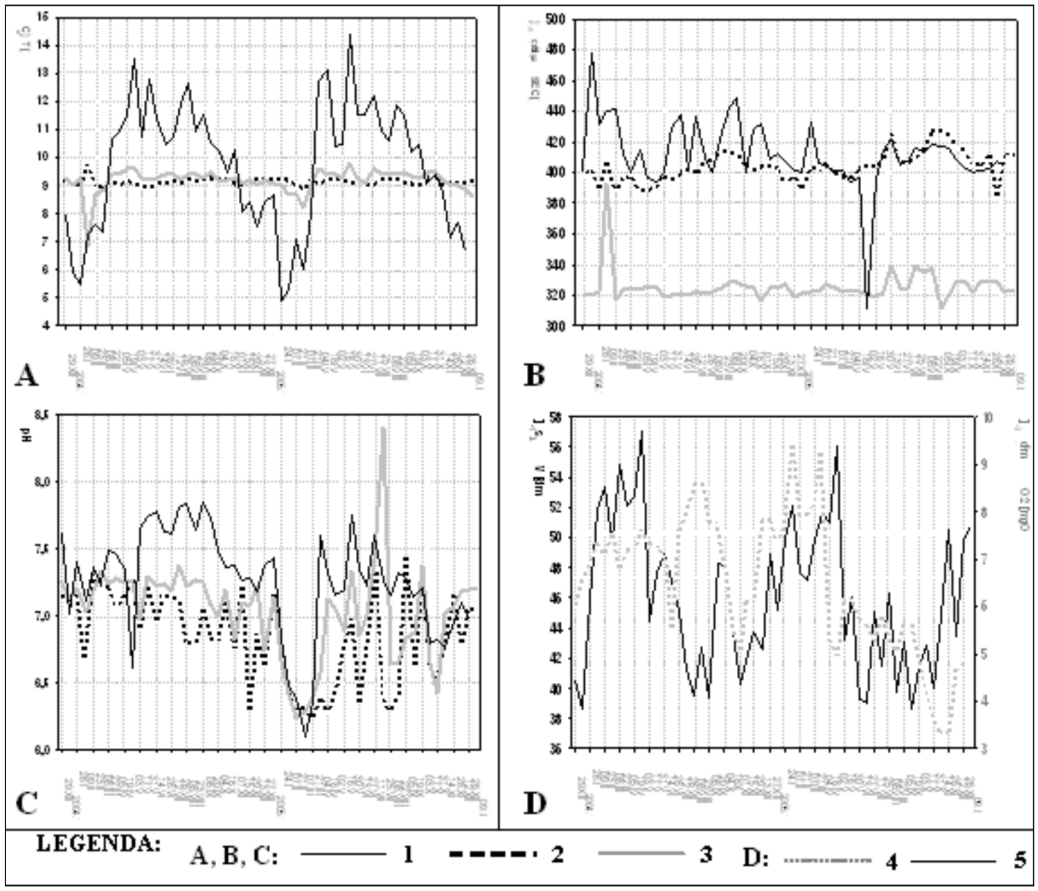
Współczynniki zmienności właściwości fizykochemicznych wody w punktach monitoringowych zlokalizowanych w obrębie niszy Rosanów I

Variability coefficients of physico-chemical characteristics of water in the controlled points located in the Rosanów large spring

Punkt pomiarowy / C_v	T	SEC	pH	O_2	Q
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
źródło descensyjne (7)	1,5	2,4	5,0	–	–
źródło ascensyjne (17)	4,7	3,3	5,0	–	–
przekrój zamykający źródlisko (22)	23,3	5,3	5,4	22,1	10,5

C_v – współczynnik zmienności własności wody [%]: T – temperatura,
SEC – konduktywność, pH – odczyn, O_2 – zawartość tlenu rozpuszczonego,
Q – wydajność źródliska
C_v – variability coefficient of the water characteristics [%]: T – temperature,
SEC – conductivity, pH – pH reaction, O_2 – oxygen content dissolved in water,
Q – large spring discharge; (7) – descending spring, (17) – ascending spring,
(22) − large spring closing profile

W analizowanym dwuleciu, konduktywność wody we wszystkich trzech punktach pomiarowych wykazała bardzo niski poziom zmienności (tab. 4.4.1). W odniesieniu do zarejestrowanego przebiegu i zakresu zmienność wyników przewodnictwa elektrolitycznego wody wypływu ascensyjnego, potwierdzony został wniosek, sformułowany wcześniej, o efektywnej izolacji drenowanego



Ryc. 4.4.5. Dynamika zmian właściwości fizykochemicznych wody i wydatku źródliska Rosanów I w okresie badawczym 2004−2005.
Punkty pomiarowe: 1 – zamknięcie niszy, 2 – źródło descensyjne, 3 – źródło ascensyjne; zmienność: A – temperatury wody, B – konduktywności, C – odczynu, D – stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie (4) i wydatku źródliska (5)
Fig. 4.4.5. Fluctuation of water physico-chemical characteristics and Rosanów I large spring discharge in under study period (2004−2005)
Measurement points: 1 – large spring closing profile, 2 – descending spring, 3 – ascending spring; variability of: A – water temperature, B – conductivity, C – pH reaction, D – oxygen content dissolved in water (4) and large spring discharge (5)

przez źródła głębszego poziomu wodonośnego od wpływów antropogenicznych. Jednocześnie wyraźnie zaznaczyły się okresy letnio-jesiennego wzrostu przewodności elektrolitycznej właściwej wód bijących w wypływie descensyjnym (ryc. 4.4.5B). Przyczyną tego jest zapewne, bardzo intensywny, dopływ zanieczyszczeń z terenów rekreacyjnych w okresie letnim.

Warto wskazać, iż względnie szeroka amplituda oraz duża dynamika wahań konduktywności wody w przekroju zamykającym niszę Rosanów I była też istot-

nie kształtowana przez zmienność warunków pogodowych (ryc. 4.4.5B). Wzrostowi stężenia jonów w wodach odpływających z niszy sprzyjało długotrwałe przemarznięcie gruntu (styczeń, luty) oraz letni, intensywny dopływ zanieczyszczeń antropogenicznych. Natomiast okresowe obniżanie konduktywności wody jest efektem dopływu wód roztopowych oraz letniej alimentacji wodami opadowymi. Odnotowane w punkcie pomiarowym 22 absolutne minimum przewodności elektrolitycznej właściwej, było wynikiem bardzo wysokich opadów w dniu poprzednim[3].

W okresie badawczym, w każdym z trzech punktów pomiarowych odczyn wody charakteryzował się zmiennością na poziomie C_v=5% (tab. 4.4.1). Dodatkowo, analizowane szeregi czasowe pH wody wykazywały dość istotną synchroniczność (ryc. 4.4.5C). Najbardziej zasadowy odczyn wykazały latem wody źródła ascensyjnego (pH 8,42). Epizod ten miał charakter jednorazowy i był uwarunkowany bezpośrednim zanieczyszczeniem obudowy wypływu. Warto podkreślić, iż cechą charakterystyczną odnotowanego przebiegu zmian odczynu wód w omawianych punktach źródliska jest podobieństwo do zmian temperatury wód w punkcie zamykającym niszę. W związku z powyższym sformułowano wniosek, iż pH wody w całym źródlisku jest przede wszystkim kształtowane przez procesy biochemiczne, jakie zachodzą w niszy oraz przez alimentację wodami roztopowymi i opadowymi. Należy pamiętać, że pH wody źródliska Rosanów I jest także modyfikowane przez oddziaływania antropogeniczne, na co szczególnie wskazują letnie wyniki pomiarów w punkcie 22 (pH>7,5).

W okresie badań, pomiary zawartości tlenu w wodach źródliska Rosanów I prowadzono jedynie w przekroju zamykającym niszę (22). Zebrany materiał liczbowy wskazywał na umiarkowaną skalę zmienności stężenia tlenu (C_v=22,1%). Przeciętna zawartość tlenu w wodach wschodniego ramienia strugi dającej początek Ciosence wyniosła 6,5 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$. Wartość ta jest zdecydowanie wyższa od wyników pomiarów zawartości tlenu w wodach wypływów zmierzonych w lipcu 2005 roku (2,9 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$).

Zimą i wiosną zawartość tlenu w wodzie, monitorowana w punkcie zamykającym, była wysoka (>7 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$). Równie wysoką zawartością tlenu rozpuszczonego w wodach źródliska odznaczał się okres wegetacyjny pierwszego roku badań, a od wiosny 2005 r. odnotowano tendencję spadkową, aż do wartości poniżej 3,5 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$ – w listopadzie (punkt 22).

W latach 2004–2005, amplituda wydajności niszy Rosanów I wyniosła 18,5 $dm^3 \cdot s^{-1}$. Najmniejsze wydatki rejestrowano w miesiącach letnich (VI–VIII) oraz we wrześniu (ryc. 4.4.5D). Maksymalne wydajności przypadły na kwiecień i maj

[3] 1 maja 2005 roku na pobliskiej Automatycznej Stacji Hydro-Meteorologicznej w Ciosnach, należącej do ZHiGW UŁ zmierzono 30,8 mm opadu

(opóźniona reakcja na zasilanie roztopowe). Zmienność wydatku była na niskim poziomie (C_v=10,5%; tab. 4.4.1). Świadczy to o dużych i względnie stałych zasobach drenowanego przez źródlisko sandrowego poziomu wodonośnego (Jokiel 2002; Moniewski 2004).

Dyskusja i podsumowanie

Wyniki badań dowodzą dużego zróżnicowania właściwości fizykochemicznych wody oraz wydajności poszczególnych wypływów. W obrębie niszy można wyróżnić trzy strefy wypływów wyprowadzających wody o podobnych właściwościach fizykochemicznych. Stwierdzono, iż głównymi czynnikami, determinującymi ową strefowość są: sposób użytkowania najbliższego otoczenia wypływów oraz właściwości drenowanego poziomu wodonośnego. W związku z powyższym, wybór wypływu do badań monitoringowych powinien przebiegać w taki sposób, by w najbliższym otoczeniu badanego źródła lub wycieku nie występowały lokalne ogniska zanieczyszczeń (np. wysypiska śmieci), które w znaczący sposób mogą przekształcić naturalne własności badanych wód.

Wybór przekroju zamykającego daną niszę, jako punktu pomiarowego odzwierciedlającego warunki fizykochemiczne wód źródliska nie jest rozwiązaniem w pełni właściwym. Spośród zmierzonych w profilu zamykającym cech fizykochemicznych wód, jedynie konduktywność była zbliżona do przeciętnej dla zbadanych wypływów w niszy Rosanów I, natomiast wyniki pozostałych cech fizykochemicznych wód strugi odbiegały zarówno od wyznaczonych średnich oraz od wyników uzyskanych w poszczególnych wypływach. Wniosek ten odnosi się do konkretnego okresu i liczby punktów pomiarowych. Możliwe jest, zatem, iż w innym okresie, w odmiennych warunkach formowania się odpływu, wyniki kartowania wypływów wykazałyby większą zbieżność z pomiarami w profilu zamykającym niszę.

Kartowanie niszy Rosanów I dowiodło, iż jest ona zasilana z licznych, aczkolwiek mało wydajnych źródeł i wycieków (VI i VII klasa wydajności według Meinzera za Pazdro 1977). Całkowity wydatek źródliska, mierzony w przekroju zamykającym (punkt 22) dowodzi dużej zasobności i bezwładności drenowanego poziomu wodonośnego. Dodatkowo, wyniki pomiarów temperatury wody wypływów wskazały na bardzo małe zróżnicowanie przestrzenne oraz czasową zmienność tej cechy fizycznej w wyprowadzanych wodach sandrowych (ryc. 4.4.3B, 4.4.5A). W efekcie przeprowadzonych badań wyznaczono w obrębie źródliska Rosanów I trzy strefy o odmiennych cechach fizykochemicznych wód. W pierwszej strefie, obejmującej wypływy w zachodniej części niszy, stwierdzono, że słabo zasadowy odczyn i względnie wysoka konduktywność wód są wynikiem infiltracji zanieczyszczeń z lokalnego wysypiska śmieci. Relatywnie niskie

pH oraz podwyższona przewodność elektrolityczna wód wypływów, zlokalizowanych w południowo-wschodniej części źródliska, zadecydowały o wyodrębnieniu drugiej strefy. W tym przypadku uznano, iż odmienność fizykochemiczna wód bijących z usytuowanych w tej części niszy wypływów jest rezultatem dopływu zanieczyszczeń z terenów rekreacyjnych Rosanowa. Trzecią wyróżnioną strefę, tworzą wypływy położone we wschodniej części niszy, wyprowadzające wody o temperaturze wynoszącej 9°C, względnie niskiej konduktywności oraz najniższej, odnotowanej zawartości tlenu rozpuszczonego. Strefa ta została przez autorów powiązana z zachodzącym tutaj drenażem wód głębszego poziomu wodonośnego.

Analiza porównawcza przebiegu zmian poszczególnych właściwości fizykochemicznych w trzech monitorowanych punktach, uwypukliła różnice między wodami strugi a wodami bijącymi bezpośrednio ze źródeł. Dotyczy to szczególnie temperatury wody. Czynnikiem odpowiedzialnym za kształtowanie jej sezonowych zmian jest wpływ warunków pogodowych. Odnotowano także wpływ czynników meteorologicznych (opady i warunki termiczne powietrza atmosferycznego) na zmienność pozostałych cech fizykochemicznych wód w przekroju zamykającym niszę. Zaobserwowane prawidłowości wyraźnie wskazują na zbieżność sezonowości temperatury, natlenienia wód zbadanej strugi z rytmem zmian tych cech wody w wodach powierzchniowych. Można zatem stwierdzić, że już w trakcie organizowania się strugi, właściwości fizykochemiczne wody odpływającej z niszy ulegają przekształceniom. Składają się na to, między innymi, oprócz warunków pogodowych, procesy biologiczne zachodzące w niszy oraz dopływ wód spływu powierzchniowego. Dlatego wyniki analiz dynamiki zmian cech fizykochemicznych wody na zamknięciu źródliska należy traktować dość ostrożnie, mając na uwadze fakt ich podatności na oddziaływanie czynników zewnętrznych.

W latach 2004–2005 czynnikiem modyfikującym naturalną, sezonową zmienność właściwości fizykochemicznych wód, bijących w wypływach skoncentrowanych, jest okresowo wzmożony dopływ zanieczyszczeń antropogenicznych z pobliskich działek rekreacyjnych. Brak właściwej gospodarki ściekami i odpadami na terenach sąsiadujących z omawianym źródliskiem, jest głównym czynnikiem determinującym stan sanitarny otoczenia niszy źródliskowej i jej zlewni. Dalsze nasilanie się degradacji wód sandrowych, zasilających źródlisko, może również pociągnąć za sobą degradację istniejących w niszy ekosystemów.

Summary

Basic hydrochemical characteristics of waters in the Rosanów I large spring

The chapter is devoted to the analysis of results of hydrochemical reserches in the Rosanów I large spring, which is located in the Łódź Hills area. The main problems discussed here were: "is there any physico-chemical difference between all the groundwater outflows in the Rosanów I niche?" and "is there any difference between results achieved from these groundwater outflows and results from waters of the large spring closing profile?" In order to examine those problems, in July 2005 waters of the all outflows and waters of closing profile were sampled including physico-chemical properties as temperature, pH index, conductivity and oxygen content. Besides water discharged was measured in the all mentioned above points. That chapter refers to the physico-chemical measurements from the period of 2 years. Samples were taken in two selected springs (the first ascending and the second descending) and to compare – in closing profile.

The reserches showed that in the Rosanów I large spring one can delimit groundwater outflow zones which differ from each other in water characteristics. This spatial variability is caused by anthropogenic influence (recreation and local dumping areas) and by hydrogeological characteristics of drained groundwater levels. General conclusion from this part of reserches is that measurement results in the closing profile are not representative for the groundwater level drained in examined large spring.

Variability in two years series of groundwater physico-chemical characteristics at all the control points is represented by a low value coefficients (see tab. 4.4.1). Temperature of the groundwater presents very strong seasonality which corresponds the air temperature changes. Other characteristics of water in the Rosanów I large spring presents dissimilarity between both controlled springs and closing profile.

Maciej Ziułkiewicz
Pracownia Ochrony Jakości Wód, Uniwersytet Łódzki
90-139 Łódź, ul. Narutowicza 88, macziul@geo.uni.lodz.pl

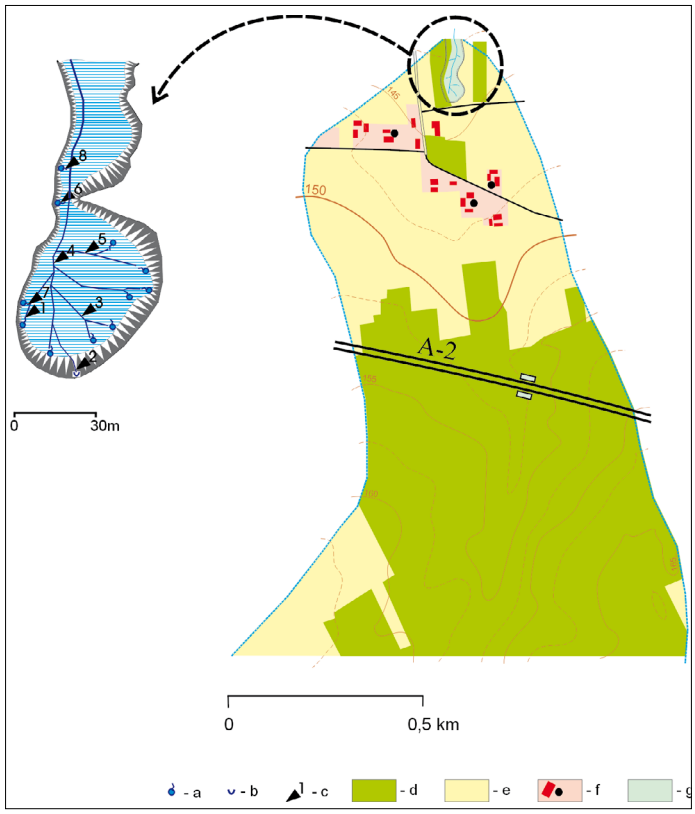
4.5. Zróżnicowanie hydrochemiczne wód podziemnych w niszy źródliskowej w Ciosnach

Nisza źródliskowa we wsi Ciosny, obok podobnej formy w sąsiednim Rosanowie, jest jednym z największych obiektów krenologicznych na przedpolu strefy krawędziowej Wzniesień Łódzkich. Podobne formy występują w tym rejonie w dolinie Mrogi (Ziułkiewicz 2000; Moniewski 2004), gdzie jedna z nich została objęta prawną ochroną jako Zespół Przyrodniczo-Krajobrazowy „Rochna" (Ziułkiewicz i in. 1998). W czasie prac dokumentacyjnych, realizowanych w celu identyfikacji stanu tego obiektu i jego zagrożeń, przeprowadzono badania hydrochemiczne wód podziemnych wypływających u podnóża krawędzi niszy źródliskowej. Rozpoznanie dowiodło, że mimo drenażu tej samej warstwy wodonośnej, wody poszczególnych wypływów różniły się między sobą pod względem charakterystyk wskazujących na antropogeniczne zanieczyszczenie.

Nisza źródliskowa w Ciosnach stanowi przedmiot badań Pracowni Ochrony Jakości Wód UŁ od 1999 roku. Prace zrealizowane w latach 1999–2001 wykazały, że spośród innych badanych równolegle źródeł w zlewni Dzierżąznej, obiekt w Ciosnach cechuje się wodami wykazującymi stosunkowo silne powinowactwo z wodami opadowymi, w małym stopniu obciążonymi zanieczyszczeniami (Ziułkiewicz, Burchard, Hereźniak-Radecka 2006).

W latach 2003–2005 nisza źródliskowa w Ciosnach została, wraz z innymi dziewięcioma źródłami położonym w okolicach Łodzi, objęta badaniami służącymi określeniu wpływu warunków siedliskowych na florę okrzemkową występującą w formach krenologicznych (Żelazna-Wieczorek, Ziułkiewicz 2004).

Przeprowadzone w związku z tymi pracami szczegółowe rozpoznanie rozległej formy krenologicznej w Ciosnach, pozwoliło zlokalizować miejsca skoncentrowanego wypływu wód podziemnych w jej dnie (ryc. 4.5.1). Przy okazji odkryto pierwsze w środkowej Polsce stanowisko krasnorostu *Hildenbrandia rivularis*, gatunku zagrożonego, wymienionego w Czerwonej Księdze (Żelazna-Wieczorek, Ziułkiewicz 2006).



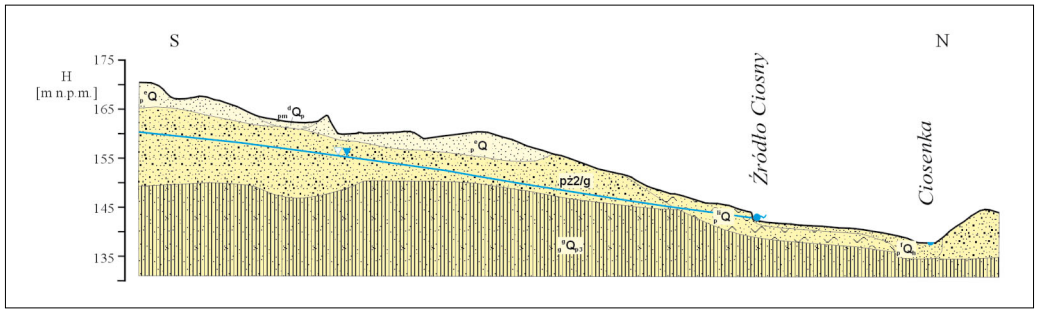
Ryc. 4.5.1. Nisza źródliskowa w Ciosnach i użytkowanie terenu w zlewni topograficznej źródła
a – wypływ wód podziemnych, b – wylot systemu drenarskiego, c – punkt badawczy, d – lasy, e – pola uprawne i nieużytki, f – gospodarstwa rolne i badane studnie gospodarskie, g – wody

Fig. 4.5.1. Spring niche in Ciosny and a land use of the spring topographic catchment
a – groundwater outflow, b – drainage system outlet, c – sampling point, d – forests, e – cultivated fields and wastelands, f – farms with sampled wells, g – surface waters

Poprzez obszar alimentacji źródliska w Ciosnach, w odległości ok. 700 m, poprowadzono odcinek autostrady A2 (Ziułkiewicz, Żelazna-Wieczorek 2005). Towarzyszą mu instalacje służące odprowadzaniu wód opadowych (fot. 4.5.1, 4.5.2). Część z tych wód, poprzez zbiorniki z chłonnym dnem, będzie wprowadzana do gruntu. Dwa takie obiekty zostały wykonane w dnie suchej dolinki, będącej przedłużeniem niszy źródliskowej (ryc. 4.5.1). Badania geologiczne, wykonane dla potrzeb projektu inwestycji drogowej, wykazały, że w podłożu znajdują się piaski różnej frakcji, pod którymi na zmiennej głębokości zalega warstwa gliny (Projekt… 2002). W osi dolinki znajduje się również, wykształcona w stropie glin, forma erozyjna wypełniona materiałem piaszczystym. Wody gruntowe występują tam na głębokościach 5,0–5,5 m, podczas gdy dno chłonnych zbiorników znajduje się 2,5 m poniżej powierzchni terenu.

Warunki występowania wód gruntowych na tym obszarze (ryc. 4.5.2) powodują, że instalacje te staną się poważnym zagrożeniem dla niszy źródliskowej w Ciosnach (Jokiel 2002).

Ta rozległa forma krenologiczna, z występującymi w jej dnie licznymi wypływami, reprezentującymi różne kierunki dopływu wód podziemnych, daje możliwość określenia stref preferowanego przepływu podziemnego i ich roli w doprowadzaniu zanieczyszczeń.



Ryc. 4.5.2. Przekrój geologiczny przez obszar alimentacji niszy źródliskowej w Ciosnach;
$_{g}^{g}Q_{p3}$ – gliny zwałowe zlodowacenia warty, pż2/g – piaski i żwiry na glinach, $_{p}^{e}Q$ – piaski eoliczne, $_{pm}^{d}Q_{p}$ – piaski mułkowate deluwialne, $_{p}^{li}Q_{p}$ – piaski zastoiskowe, $_{p}^{f}Q_{h}$ – piaski fluwialne holoceńskie

Fig. 4.5.2. Geologic cross-section of the spring niche in the Ciosny catchment area;
$_{g}^{g}Q_{p3}$ – boulder clays of the Warta glaciation, pż2/g – sands and gravles on clays, $_{p}^{e}Q$ – eolian sands, $_{pm}^{d}Q_{p}$ – deluvian loamy sands, $_{p}^{li}Q_{p}$ – stagnant sands, $_{p}^{f}Q_{h}$ – fluvial sands of Holocene

W tym celu do badań hydrochemicznych wytypowano sześć miejsc skoncentrowanego wypływu wód podziemnych w dnie niszy oraz wylot systemu drenarskiego położonego na jej zboczu – ryc. 4.5.1. Pomiary rozpoczęto w czerwcu 2005 r., wyprzedzając moment uruchomienia autostrady. Pozwoliło to określić tło, na którym będą rejestrowane zmiany jakości wód, wywołane zanieczyszczeniami pochodzącymi z jej odwadniania.

W ramach badań, pobrano również próbki wody ze wszystkich, zachowanych na obszarze zlewni topograficznej źródła, studni gospodarskich, ujmujących wody gruntowe. Celem tych prac było określenie stanu jakości wód w najbliższym sąsiedztwie ognisk zanieczyszczeń, charakterystycznych dla obejść gospodarskich. Przed pobraniem próbek, ze studni wypompowywano wodę, by wymusić przynajmniej jednorazową jej wymianę.

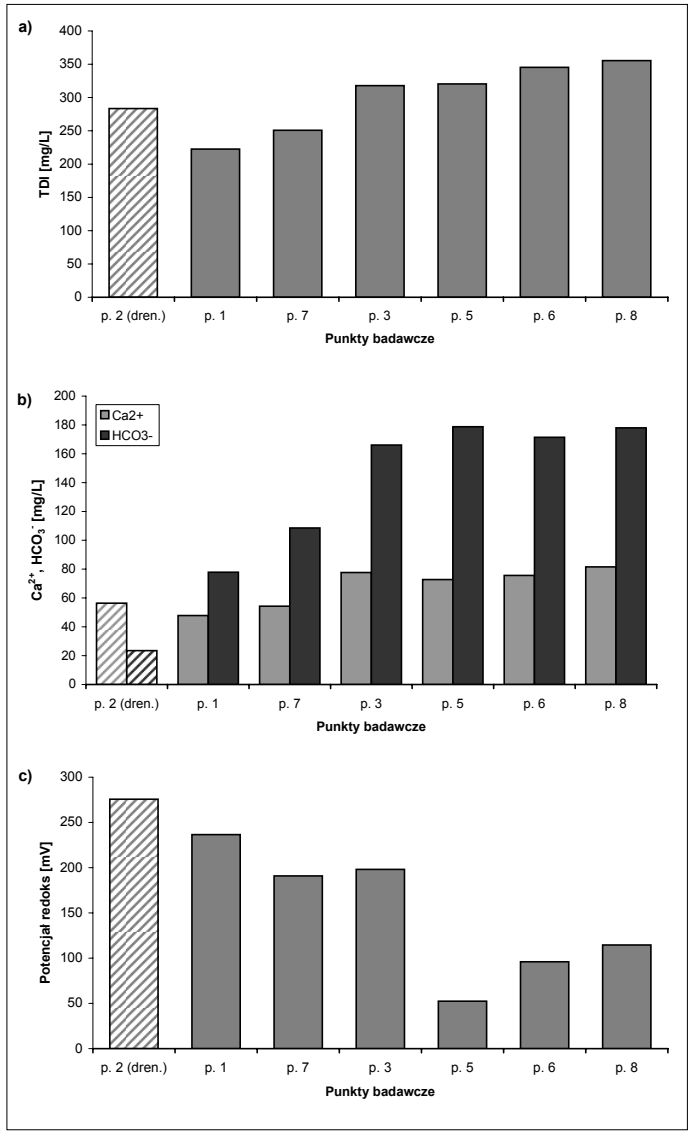
Materiał hydrochemiczny zbierano, od czerwca 2005 r. do maja 2006 r. Oznaczenia cech fizykochemicznych wód dokonywano jeden raz w miesiącu, mierząc równocześnie wydatek niszy źródliskowej. Woda z poszczególnych źródeł była badana w pewnej stałej odległości od miejsca jej wypływu na powierzchnię, tam gdzie objętość wody była wystarczająca do pobierania próbek i zanurzenia czujników i elektrod[4]. Próbki ze studni gospodarskich pobrano jednorazowo, w czerwcu 2005 r., przy poziomie zwierciadła zbliżonym do średniego z wielolecia 2003–2005.

[4] Stosowano specjalne naczynie przepływowe, zabezpieczające końcówki elementów pomiarowych przed kontaktem z dnem.

Zakres i metodyka prac terenowych i laboratoryjnych pozostała niezmieniona w stosunku do badań realizowanych w niszy w latach 2003–2005. Ich opis znajduje się w rozdziale 4.9 (J. Żelaznej-Wieczorek i M. Ziułkiewicza). Wydajność badanych wypływów nie przekroczyła, w okresie pomiarowym, 0,5 $dm^3 \cdot s^{-1}$. System drenarski funkcjonował tylko w okresie od stycznia do maja 2006 r.; w marcu 2006 r. zarejestrowano w nim maksimum odpływu (0,7 $dm^3 \cdot s^{-1}$).

W wyniku prowadzonych prac zebrano materiał pozwalający przeprowadzić wstępną analizę zróżnicowania hydrochemicznego w obrębie niszy, przy założeniu, że badane wypływy drenują ten sam, odsłonięty wodonosiec (ryc. 4.5.2), i że wody dopływające do każdego z nich pochodzą z różnych jego fragmentów. Przy takiej metodyce pobierania próbek nie do uniknięcia jest wpływ kontaktu wód podziemnych z atmosferą. Przyjęto jednak założenie, że wpływ ten będzie w każdym przypadku podobny i nie wpłynie znacząco na uzyskany obraz hydrochemiczny niszy źródliskowej.

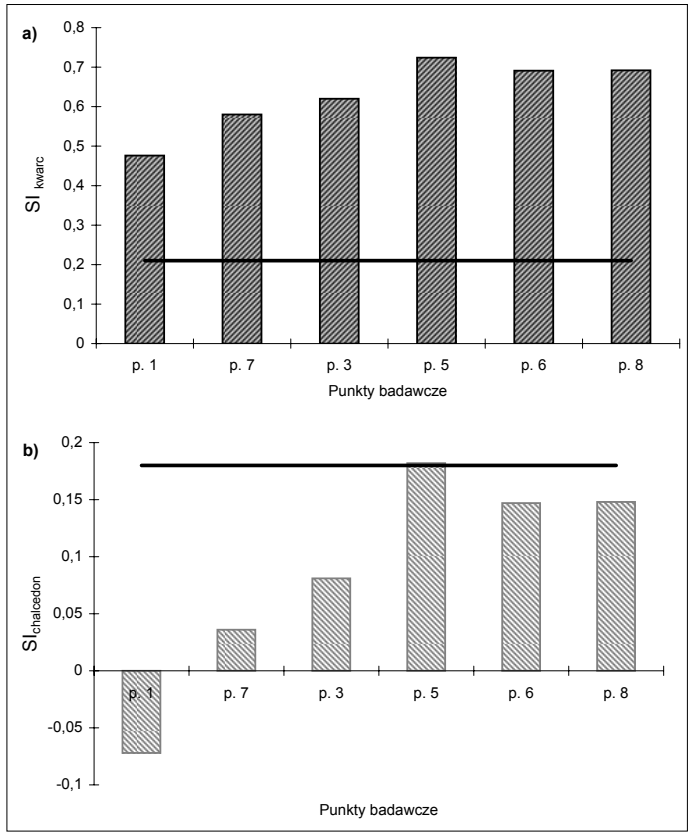
Analiza zgromadzonego materiału badaw-



Ryc. 4.5.3. Zróżnicowanie hydrochemiczne wód podziemnych wypływających w niszy źródliskowej w Ciosnach;
a – mineralizacja, b – stężenie jonu wapniowego i wodorowęglanowego, c – potencjał redoks
Fig. 4.5.3. Hydrochemical diversity of groundwater flowing out from the Ciosny spring niche;
a – mineralization, b – concentration of calcium and hydrocarbonates, c – redox potential

czego pozwala stwierdzić, że zróżnicowanie hydrochemiczne w obrębie niszy przejawia się dwojako. Wzdłuż osi podłużnej, od części inicjalnej niszy do jej wylotu, wraz z obniżaniem się dna, nawiązującego do spadku zwierciadła drenowanej warstwy wodonośnej, wzrasta mineralizacja wód oraz stężenia jonów wapniowego, magnezowego i wodorowęglanowego (ryc. 4.5.3a i b). W tym samym porządku obniżeniu ulega potencjał oksydacyjno-redukcyjny (ryc. 4.5.3c). Ocena stanu nasycenia wód względem minerałów, przeprowadzona przy pomocy programu WATEQ4F (Hounslow 1995), wskazuje na postępujący w tym samym kierunku wzrost wartości wskaźnika SI, przede wszystkim dla minerałów krzemionkowych (ryc. 4.5.4).

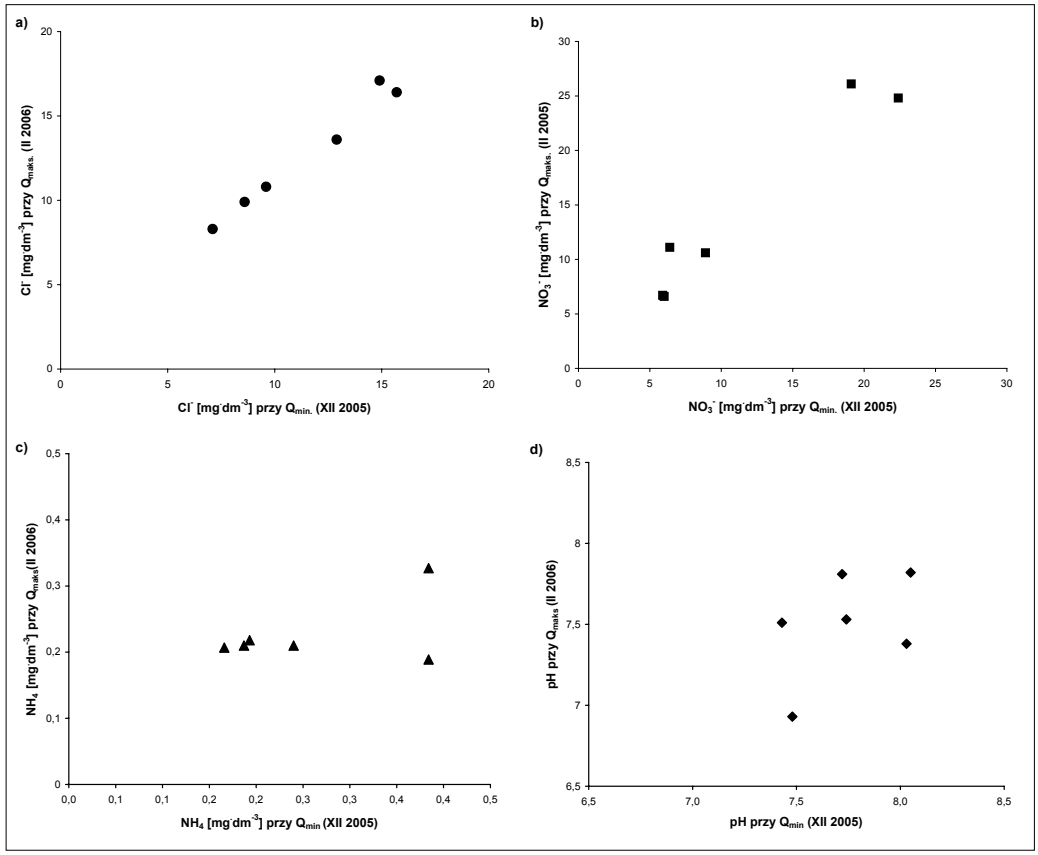
Prowadzone równolegle z badaniami hydrochemicznymi pomiary wydajności całej niszy, dały możliwość powiązania charakterystyk fizykochemicznych wody z poszczególnych wypływów ze zmiennością jej wydatku. W czasie rocznych obserwacji, zanotowano duże zmiany wydajności źródliska; minimum wystąpiło w grudniu 2005 r. (10,9 $dm^3 \cdot s^{-1}$), a maksimum w lutym 2006 r. (28,3 $dm^3 \cdot s^{-1}$). Przeprowadzając ocenę zmian warunków hydrochemicznych w niszy oparto się na tych dwóch wartościach ekstremalnych.



Ryc. 4.5.4. Wartości wskaźników nasycenia SI wód niszy źródła w Ciosnach względem minerałów krzemionkowych; zaznaczono 5% log K
a – względem kwarcu, b – względem chalcedonu
Fig. 4.5.4. Values of the Saturation Index of waters from the Ciosny spring niche calculated for siliceous minerals; marked 5% log K
a – for quatrz, b – for chalcedon

Wraz z blisko trzykrotnym wzrostem wydajności wypływów w niszy, wystąpiły proporcjonalne zmiany wartości większości parametrów i stężeń składników w wodach poszczególnych wypływów. Wyjątkiem okazał się jon NH_4^+ oraz odczyn wód (ryc. 4.5.5).

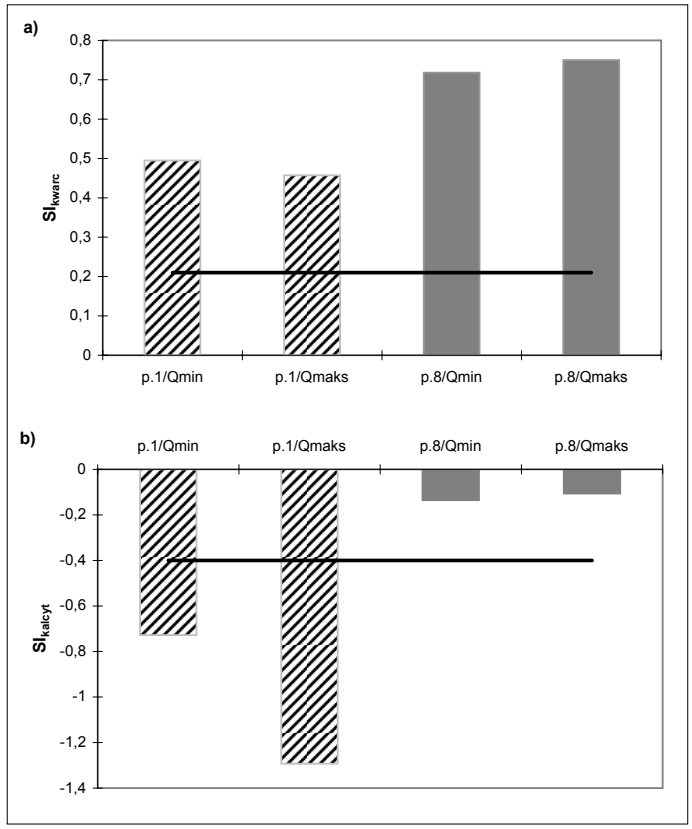
Odmienna reakcja na wzmożone zasilanie w odniesieniu do chlorków i azotanów, w stosunku do jonu amonowego, może wynikać z różnego położenia ognisk zanieczyszczeń względem niszy źródliskowej. Oddziaływanie odległych obiektów jest stałe, a zmiany stężeń są wówczas proporcjonalne (ryc. 4.5.5a i b), natomiast obiekty położone blisko niszy skutkują zmianami nieproporcjonalnymi (ryc. 4.5.5c), silniej zaznaczonymi w wypływach funkcjonujących od strony gospodarstw.



Ryc. 4.5.5. Relacja między wartościami wybranych elementów hydrochemicznych w czasie ekstremalnych wydajności niszy źródliskowej w Ciosnach;
a – chlorki, b – azotany, c – jon amonowy, d – odczyn
Fig. 4.5.5. Relationship between values of the selected hydrochemical elements for extreme yields of the Ciosny spring niche;
a – chlorides, b – nitrates, c – ammonium ion, d – pH reaction

Obraz zróżnicowania hydrochemicznego wypływów jest jeszcze bardziej czytelny w przypadku odczynu wód. Wypływy położone w górnej części niszy zareagowały na wzmożone zasilanie najsilniej, te z części środkowej – słabiej, a najmniejsze zmiany dotyczyły wypływów położonych w części dolnej (ryc. 4.5.5d).

Zmiany stanu równowagi termodynamicznej wód względem fazy stałej wodonośca w następstwie zmian wydajności niszy źródliskowej potwierdzają wartości wskaźnika SI obliczone dla wybranych minerałów (ryc. 4.5.6). Wody wypływu 1 reagują na wzmożone zasilanie niewielkim wzrostem agresywności względem kwarcu (ryc. 4.5.6a) i kalcytu (ryc. 4.5.6b). Wody wypływu zlokalizowanego w dolnej części niszy (p. 8), odwrotnie – niewielkim wzrostem nasycenia względem kwarcu (ryc. 4.5.6a) i kalcytu (ryc. 4.5.6b). Zwraca też uwagę dysproporcja wartości wskaźników SI między punktami reprezentującymi wody z górnej i dolnej części niszy.

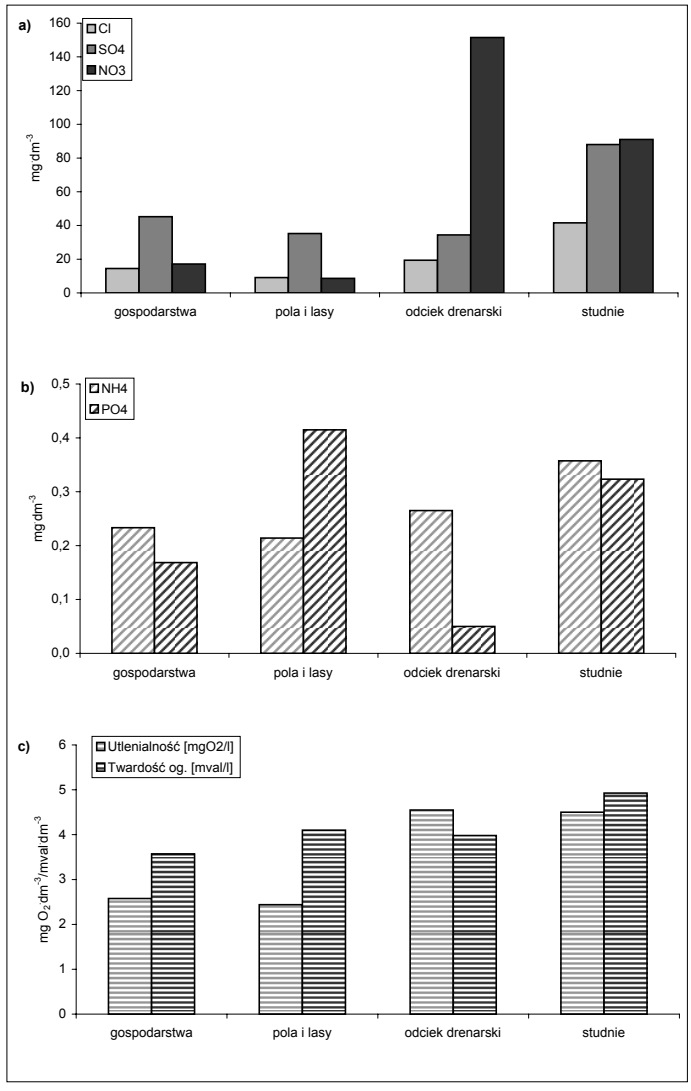


Ryc. 4.5.6. Wartości wskaźników nasycenia SI wód wybranych wypływów w okresach zarejestrowanych ekstremów wydajności niszy źródliskowej w Ciosnach dla:
a – kwarcu, b – kalcytu. Zaznaczono 5% log K
Fig. 4.5.6. Values of the Saturation Index of the selected outflows in the Ciosny spring niche during extreme yields for:
a – quartz, b – calcite. Marked 5% log K

Szybsza reakcja hydrochemiczna na wzmożone zasilanie niszy źródliskowej jest charakterystyczna dla górnej jej części. Wskazują na to zmiany odczynu i stanu nasycenia wód. Dolna część niszy wydaje się pod tym względem bardziej

bezwładna. Na tej podstawie można przypuszczać, że w górnej części badanej niszy źródliskowej wypływają wody cechujące się krótszym obiegiem podziemnym, podczas gdy w dolnej, na powierzchni, pojawiają się wody dłużej pozostające w środowisku skalnym.

Z uwagi na fakt, iż zasilający niszę wodonosiec jest odkryty (ryc. 4.5.2), a jej zlewnia topograficzna podlega zagospodarowaniu typowemu dla obszarów rolniczych (ryc. 4.5.1), w badanych wodach zostały zarejestrowane przejawy ich antropogenicznego przeobrażenia. Wody wypływów funkcjonujących u podnóża przeciwległych krawędzi niszy odzwierciedlają, pod względem wybranych parametrów jakości, sposób użytkowania obszarów ich alimentacji (ryc. 4.5.7). Stęże-



Ryc. 4.5.7. Zróżnicowanie hydrochemiczne wód wypływów niszy źródliskowej w Ciosnach jako wynik sposobu użytkowania terenu;
a – chlorki, siarczany i azotany, b – jon amonowy i fosforany, c – utlenialność i twardość ogólna
Fig. 4.5.7. Hydrochemical diversity of groundwater from the Ciosny spring niche outflows as a result of the catchment land use;
a – chlorides, sulphates and nitrates, b – ammonium ion and phosphates, c – oxidability and total hardness

nia chlorków, siarczanów, azotanów, jonu amonowego oraz utlenialności są wyższe w przypadku wód wypływających spod krawędzi niszy od strony gospodarstw, natomiast fosforany i twardość ogólna wyróżniają wody wypływów, których zlewnie pokryte są polami i lasami. Na uwagę zasługuje fakt, że wody wypływające w niszy są wyraźnie mniej obciążone zanieczyszczeniami niż wody z odcieku drenarskiego i studni gospodarskich (ryc. 4.5.7).

Ogólne zróżnicowanie chemizmu wód niszy źródliskowej w Ciosnach jest prawdopodobnie spowodowane przez dwa nakładające się na siebie czynniki: geogeniczny i antropogeniczny. Czynnik geogeniczny związany jest z naturalnym zróżnicowaniem wód dopływających do niszy, wynikającym z przestrzennego i głębokościowego zasięgu drenażu wodonośca przez tę formę krenologiczną, natomiast czynnik antropogeniczny, generowany jest przez sposób zagospodarowania zlewni i podatność warstwy wodonośnej na zanieczyszczenia.

Summary

Hydrochemical diversity of the spring niche in Ciosny

Spring niche in Ciosny is expansive crenologic form which was eroded in fluvioglacial sediments of the Warta glaciation. Groundwater flow out here in a typical agriculture vicinity: farms, cultivated fields, grasslands and forests. In the bottom of this niche many outflows of groundwater exist. Some of them were searched to identify hydrochemical diversity of water. Particular outflows probably exist on different directions of groundwater flow. In a certain distance from the A2 highway there was built infiltrating basins for precipitation wastewaters. Indicatet hydrochemical diversity in spring niche waters is connected with two factors. The first one represents geogenic conditions of the spring catchment areas and generates hydrochemical differentiation along niche (increase of dissolved matter value and Ca^{2+}, Mg^{2+}, HCO_3^- concentrations). The second factor is connected with a local anthropopression and generates diversity of outflows in the opposite scarp of the searched niche. In this section, where the farms and cultivated fields are in the close vicinity concentration of Cl^-, SO_4^{2-}, NH_4^+, NO_3^- and oxidability of waters is higher than in outflows from the side of cultivated fields and forests.

Elżbieta Jekatierynczuk-Rudczyk
Instytut Biologii, Uniwersytet w Białymstoku
15-950 Białystok, ul. Świerkowa 20b, rudczyk@uwb.edu.pl

4.6. Charakterystyka jakości wody naturalnych wypływów wód podziemnych Białegostoku

Wstęp

Na terenach nizinnych trudno jednoznacznie sklasyfikować naturalne wypływy wód podziemnych uwzględniając sposób wypływu wody. Na Wysoczyźnie Białostockiej nazwano je źródliskami (Jekatierynczuk-Rudczyk 1999a), choć termin ten nie jest w literaturze krenologicznej jednoznacznie definiowany (Moniewski 2006). Naturalne wypływy wody podziemnej należą do rzadkich obiektów przyrodniczych. Ze względu na specyficzne warunki środowiskowe (niska temperatura wody oraz jej mała zmienność w ciągu roku) są specyficznym ekotonem, miejscem bytowania typowej tylko dla źródeł flory i fauny. Różnorodność morfologiczna form wypływu wody podziemnej w połączeniu z charakterystyczną, hydrofilną roślinnością i specyficznym mikroklimatem, posiada walory estetyczne, wzbogacające krajobraz. Naturalne wypływy wód podziemnych wykorzystywane są jako rezerwuary wody pitnej, zasilają w wodę stawy rybne oraz mogą być używane do celów rekreacyjnych. Ich występowanie świadczy o dobrze zachowanym środowisku naturalnym.

Na terenie Białegostoku i okolic występują liczne naturalne wypływy wód podziemnych, często atrakcyjne pod względem przyrodniczym (Łoszewski 1995). W wyniku niekorzystnych oddziaływań człowieka na środowisko, obserwuje się postępującą ich degradację, pogorszenie jakości wody, a nawet zanik wypływów (Jekatierynczuk-Rudczyk, Żuk 2006).

Prezentowana praca ma na celu:

- ocenę aktualnego stanu czystości wód źródlisk Białegostoku,
- określenie kierunków zmian jakości wody źródlisk białostockich poprzez porównanie wyników z rezultatami wcześniejszych badań.

Teren badań

Obszar badań obejmował miasto Białystok. Pod względem fizyczno-geograficznym badany teren to Nizina Północnopodlaska, mezoregion – Wysoczyzna Białostocka (Kondracki 1998). Występowanie naturalnych wypływów wody podziemnej na Nizinie Północnopodlaskiej uwarunkowane jest głównie urozmaiconą rzeźbą terenu powstałą w trakcie zlodowacenia warciańskiego (Musiał 1992).

Głównym powierzchniowym elementem hydrograficznym na badanym terenie jest Supraśl o długości 106,5 km (ryc. 4.6.1). Lewobrzeżnym dopływem Supraśli jest Biała, w zlewni której położony jest prawie cały obszar Białegostoku. Północny skraj terenu odwadniany jest bezpośrednio przez dolinę Supraśli i jej dwa małe dopływy (m.in. Jaroszówkę), natomiast południowy − przez Horodniankę – dopływ Narwi (ryc. 4.6.1). Prawobrzeżnym dopływem Białej jest Dolistówka, a lewobrzeżnym Bażantarka. Użytkowane wody podziemne na terenie Wysoczyzny Białostockiej występują w utworach czwartorzędowych (Łoszewski 1995). Są to wody porowe, krążące w piaskach i żwirach. Serie warstw nieprzepuszczalnych wykształcone są z glin polodowcowych. Wody podziemne cechują się wielopoziomowością.



Ryc. 4.6.1. Lokalizacja źródlisk
Fig. 4.6.1. Position of springs

Naturalne wypływy wody podziemnej na omawianym terenie należą do wypływów warstwowych. Są to najczęściej wypływy descensyjne. Jedno z badanych źródlisk to wypływ ascensyjny (wypływ 1). Najpowszechniejszą formą morfologiczną źródeł jest nisza o kształcie owalnym, kolistym lub półkolistym. Oprócz tego występuje forma korytowa (wypływ 2). Pod względem hydrobiologicznym, badane wypływy wody podziemnej prezentują zarówno helokre-

ny, reokreny, jak i limnokreny (tab. 4.6.1). Występujące tu limnokreny zostały utworzone sztucznie. Należy do nich źródlisko 3, którego niszę pogłębiono i w jej obrębie utworzono niewielki staw oraz wypływ 4, gdzie woda ujęta została cembrowiną.

Metody badań

Badaniami objęto cztery źródliska na terenie Białegostoku. Prowadzono je w latach 2001–2004 czterokrotnie w ciągu roku (maj, lipiec, wrzesień oraz listopad). W terenie mierzono: wydajność źródlisk przy pomocy młynka hydrometrycznego lub przelewem Ponceleta, przewodność elektrolityczną właściwą, temperaturę, odczyn wody, wysycenie wody tlenem, zawartość tlenu rozpuszczonego w wodzie przy użyciu Minisondy 4a firmy Hydrolab.

Analizy laboratoryjne wykonano zgodnie z metodami opisanymi przez Hermanowicza i in. (1976). Analizowano: wodorowęglany, twardość ogólną, wapń – metodą miareczkową, magnez wyliczono z różnicy pomiędzy twardością ogólną a stężeniem wapnia, sód i potas metodą fotometrii płomieniowej aparatem FLAPHO 4 firmy Carl Zeiss Jena. Pozostałe składniki chemiczne badanych wód zostały oznaczone metodą kolorymetryczną przy użyciu spektrofotometru Beckman DU-650 z wykorzystaniem procedur i odczynników proponowanych przez firmę Riedel-de Häen. Oznaczono: fosfor ortofosforanowy po wcześniejszym przesączeniu przez sączek „GF/C", fosfor całkowity po uprzednim zakwaszeniu i mineralizacji promieniami UV, azot azotanowy i amonowy, siarczany, chlorki oraz krzem. Zawartość rozpuszczonego węgla organicznego (DOC) oznaczono w analizatorze węgla organicznego TOC-5050A firmy Shimadzu.

W lipcu 2001 r. pobrano próby wody do oznaczeń algologicznych. Utrwalono je w terenie płynem Unthermola. Oznaczenia algologiczne przeprowadzano przy pomocy mikroskopu Olympus BX-50. Analizy ilościowej dokonano przy użyciu kamery Fuchs-Rosenthal'a. Liczono do 200 osobników w każdej próbie. Przy liczeniu okrzemek uwzględniano tylko okazy zawierające protoplast.

Opracowania statystyczne wykonano w programie Statgraphics for Windows 5.0.

Wyniki i dyskusja

Jednym z najważniejszych parametrów cechujących naturalne wypływy wód podziemnych jest wydajność, informująca o zasobach wodnych zlewni, o tempie wypełniania się i opróżniania zbiorników wód podziemnych, jak również o kierunkach przemieszczania się wód podziemnych (Absalon, Jankowski 1999). Według Dynowskiej (1986) na terenach nizinnych dominują wypływy mało wydajne, ponieważ warstwy międzymorenowe są często nieciągłe. Badane

źródliska cechowały się niewielką wydajnością (tab. 4.6.1). Tylko wydajność jednego z nich przekraczała 5 $dm^3 \cdot s^{-1}$. Występowanie wydajnych wypływów wiąże się z głębokimi wcięciami erozyjnymi. Wypływ 2 (tab. 4.6.1) ma formę wciosu, wypływa u podnóża wysokiej skarpy (4,5 m) i znajduje się w sąsiedztwie dużego kemu.

Tabela 4.6.1

Charakterystyka źródlisk Białegostoku

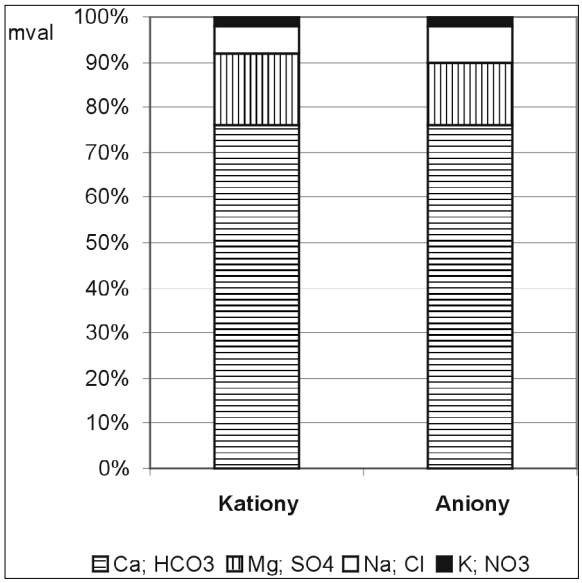
Characteristics of the Białystok springs

nr wypływu	Położenie hydrograficzne	Wydajność $dm^3 \cdot s^{-1}$ (zakres/średnia)	Typ wypływu	Zagospodarowanie zlewni powierzchniowej
1	zlewnia Jaroszówki	0,2–0,5 / 0,3	helokren	las sosnowy
2	zlewnia Jaroszówki	3,0–7,3 / 5,2	reokren	las sosnowy i mieszany, „dzikie" wysypisko śmieci
3	zlewnia Jaroszówki	1,9–4,3 / 2,4	sztuczny limnokren	domy mieszkalne
4	zlewnia Białej	0,2–0,5 / 0,3	sztuczny limnokren	las sosnowy, łęg olchowy

Roślinność porastająca nisze badanych źródlisk należy do zbiorowiska *Cardamine amara-Chrysosplenium alternifolium* OBERD. 1977 (*Cardamino-Chrysosplenietum* MAAS 1959 p.p.). Jest to zbiorowisko bardzo pospolite na Niżu Polskim, występujące w obrębie źródlisk i w wilgotnych zagłębieniach śródleśnych w formie enklaw, w kompleksie niektórych łęgów oraz żyźniejszych postaci olsu porzeczkowego (Matuszkiewicz 2005). Roślinność źródliskową Polski cechuje ogólnie duże zróżnicowanie, które jest wyrazem nie tylko różnorodności naturalnych wypływów wody podziemnej, ale i synantropizacji szaty roślinnej (Kucharski, Filipiak 1999). Antropogeniczne przekształcenia nisz źródliskowych sprzyjają zmianom roślinności wokół wypływu. W obrębie niszy źródliska 3 stwierdzono nasadzenia pałki wodnej (*Typha angustifolia* L.) i trzciny pospolitej (*Phragmites communis* Trin.).

Dane literaturowe informują o występowaniu na tym obszarze wód trój- lub czterojonowych: HCO_3-SO_4-Ca lub $HCO_3-SO_3-Ca–Mg$, co świadczy o zanieczyszczeniu i przekształceniu wód podziemnych (Górniak, Jekatierynczuk-Rudczyk 1997; Jekatierynczuk-Rudczyk 1999a,b). W latach 2001–2004 stwierdzono dwujonowy, wodorowęglanowo-wapniowy typ wody (ryc. 4.6.2). Brak wyraź-

nych przekształceń wód wypływów położonych na terenie zabudowanym świadczyć może o dobrej szczelności sieci kanalizacyjnej oraz mniejszej presji antropogenicznej wynikającej z aktualnej koniunktury gospodarczej regionu białostockiego.



Ryc. 4.6.2. Skład jonowy wody źródlisk Białegostoku w latach 2001–2004
Fig. 4.6.2. Ionic composition of spring waters in Białystok in years 2001–2004

Porównując aktualne wyniki z danymi archiwalnymi stwierdzono utrzymujący się niski stopień przekształcenia wód naturalnych wypływów wody podziemnej (tab. 4.6.2). W przypadku niektórych parametrów fizykochemicznych wód badanych źródlisk, obserwuje się wręcz mniejsze stężenia. Dotyczy to stężenia: chlorków, siarczanów, azotanów i fosforanów.

Porównanie otrzymanych wyników z zakresem tła hydrochemicznego źródlisk dorzecza Supraśli wykazało niewielki stopień przekształcenia wód wypływów białostockich (Jekatierynczuk-Rudczyk 1999c) (tab. 4.6.2). Większość parametrów przekroczyła nieznacznie górną granicę zakresu (np. stopień wysycenia wody tlenem, stężenie wapnia, potasu, jonów wodorowęglanowych). Istotne różnice dotyczyły przewodnictwa właściwego wody, stężenia sodu, chlorków, azotanów i DOC (tab. 4.6.2). Zakresy stężeń poszczególnych parametrów wody były w większości przypadków znacznie węższe niż zakresy tła wypływów płytkich wód podziemnych dorzecza Supraśli.

Stwierdzono, iż wody źródlisk Białegostoku cechują się znacznie lepszą jakością niż w innych miastach Polski. Dla przykładu: w źródłach Warszawy, jedynie stężenie kationów wapnia było zbliżone do notowanego w wodach wypływów Białegostoku. Stężenie magnezu w wodach źródeł Warszawy było 10-krotnie, a żelaza aż 24-krotnie większe niż w wodach źródlisk Białegostoku. Jednocześnie stężenie siarczanów było 6-krotnie, jonów chlorkowych 3-krotnie a ortofosfora-

nów aż 7-krotnie większe niż w wodach źródlisk Białegostoku. Zawartość tlenu rozpuszczonego w wodach źródeł Warszawy była natomiast 3-krotnie mniejsza niż w wodach źródlisk Białegostoku (Macioszczyk i in. 1991). Tak znaczne różnice w stężeniach składników chemicznych wody, wynikają z mniejszego stopnia urbanizacji, niskiego uprzemysłowienia Polski północno-wschodniej oraz położenia badanych źródlisk na terenach leśnych miasta.

Tabela 4.6.2

Porównanie zakresów parametrów fizykochemicznych wód źródlisk Białegostoku z tłem źródlisk dorzecza Supraśli (Jekatierynczuk-Rudczyk 1999b)

Comparison of range values of physico-chemical parameters of the Białystok spring waters with the hydrochemical background of springs in the Supraśl catchment (Jekatierynczuk-Rudczyk 1999b)

Parametry		zakres cech wody źródlisk Białegostoku	tło hydrochemiczne źródlisk dorzecza Supraśli
Odczyn wody	pH	6,9 – 7,4	7 ,2 – 8,2
Tlen rozpuszczony	$mg \cdot dm^{-3}$	8,4 – 12,4	7,1 – 11,2
SWWT	%	79 – 115	66 – 96
SEC	$\mu S \cdot cm^{-1}$	412 – 568	284 – 458
DOC	$mg \cdot dm^{-3}$	2,14 – 4,22	0,01 – 3,42
Ca^{2+}	$mg \cdot dm^{-3}$	85,8 – 106,0	53 – 95
Mg^{2+}	$mg \cdot dm^{-3}$	4,2 – 8,3	5,3 – 17,8
Na^{-}	$mg \cdot dm^{-3}$	3,12 – 12,6	1,44 – 5,28
K^{-}	$mg \cdot dm^{-3}$	0,68 – 1,72	0,01 – 1,71
HCO_3^{-}	$mg \cdot dm^{-3}$	250 – 317	176 – 310
Cl^{-}	$mg \cdot dm^{-3}$	11,5 – 25,4	5,5 – 15,0
SO_4^{2-}	$mg \cdot dm^{-3}$	29,1 – 38,2	4,5 – 36,0
$N\text{-}NH_4$	$mg \cdot dm^{-3}$	0,16 – 0,26	0,09 – 1,03
$N\text{-}NO_3$	$mg \cdot dm^{-3}$	0,47 – 2,45	0,07 – 1,47
$P\text{-}PO_4$	$mg \cdot dm^{-3}$	0,01 – 0,07	0,11 – 0,51

O niewielkim przekształceniu jakości wody w źródliskach miejskich świadczą również wyniki badań algologicznych. W wodach źródlisk Białegostoku oznaczono ogółem 19 taksonów glonów – tab. 4.6.3. Dominującą grupą były okrzemki (*Bacillariophyceae),* stanowiące ponad 80% wszystkich oznaczanych taksonów. Zaobserwowano pojedyncze osobniki sinic (*Cyanophyta*), zielenic

(*Chlorophyceae*) i euglenin (*Euglenophyta*). Wymienione gatunki stwierdzono jedynie w źródlisku 3 przekształconym w niewielki staw. Najpowszechniejszymi i najbardziej licznymi taksonami występującymi niemal we wszystkich wypływach były gatunki z rodzajów: *Diatoma, Cocconeis, Navicula*. Okrzemki są dobrym wskaźnikiem trofii wód. Duży ich udział w ogólnej liczbie taksonów wskazuje na stosunkowo dobrą jakość wód podziemnych w badanym regionie (Paczuska 1999). Zanotowano przede wszystkim gatunki peryfitonowe. Dominującym gatunkiem był *Diatoma hiemale v. Mesodon* Ehr, będący gatunkiem charakterystycznym dla naturalnych wypływów wody podziemnej. Charakterystycznym dla źródeł gatunkiem, występującym jednak bardzo nielicznie, był

Tabela 4.6.3

Dominujące gatunki glonów w wodach źródlisk Białegostoku
(Grabowska, dane niepublikowane)

Dominating species of algae in spring waters of Białystok
(Grabowska, unpublished data)

Taksony	Nr źródliska			
	1	2	3	4
Cyanophyta				
Oscillatoria sp.			×	
Chlorophyceae				
Spirogyra sp.			×	
Bacilariophyceae				
Synedra ulna (Nitzch) Ehr.			×	×
Synedra sp.		×		
Diatoma hiemale v. Mesodon Ehr.	×	×		×
Amphora ovalis Kütz.	×	×		×
Tabelaria flocculosa (Roth) Kütz.	×	×		
Cymbella sp.	×			×
Gomphonema constrictum Ehr.				×
Navicula sp. 1	×	×	×	
Navicula sp. 2	×			
Meridion circulare Ag.		×		×
Cocconeis sp.		×	×	×
Cocconeis placentula Ehr.	×			
Pinularia sp.	×	×		
Mastogloia sp.				×
Surirella spiralis Kütz.	×			
Euglenophyta				
Trachellomonas volvocina Ehr.			×	
Liczba taksonów	9	8	6	8

Surirella spiralis Kűtz. Pozostałe gatunki dominujące, jak i występujące sporadycznie, zaliczane są do kosmopolitów występujących w wodach różnych typów (*Amphora ovalis* Kűtz*, Cocconeis sp., Navicula sp.*).

Mimo niewielkich przekształceń jakości wody w źródliskach Białegostoku ich stan ulega pogorszeniu. W ostatnich dziesiątkach lat, na terenie Białegostoku wystąpiły udokumentowane przypadki zaniku i przekształceń naturalnych wypływów wody podziemnej. Zanik wypływów jest najczęściej spowodowany przez odprowadzanie ich wód do kanalizacji deszczowej. W dolinie Jaroszówki w czasie regulacji istniejącego tu cieku, pogłębiono jego koryto, co doprowadziło do zaniku istniejącej po obu jego stronach młaki (Łoszewski 1995). Zanik źródlisk na terenie zlewni Jaroszówki obserwowano w roku 1994 (Jekatierynczuk-Rudczyk 1999a), podczas prowadzenia prac kanalizacyjnych w północnej części miasta. W 2006 roku hydrologicznym znacznie wylesiono zlewnię bezpośrednią ascensyjnego wypływu 1, prawdopodobnie przygotowując teren pod zabudowę.

Wnioski

- Na terenie Białegostoku występują warstwowe wypływy wód podziemnych, najczęściej descensyjne, o niewielkiej wydajności rzadko przekraczającej 5 $dm^3 \cdot s^{-1}$.
- Dwujonowy, wodorowęglanowo–wapniowy typ hydrochemiczny wody, stosunkowo niewielkie stężenia makroelementów (SO_4^{2-}, Cl^-, $N\text{-}NO_3$), świadczą o dobrej jakości badanych wód.
- Nieznaczne przekroczenie regionalnego zakresu tła hydrochemicznego informuje o początkowych stadiach przekształcenia jakości wody podziemnej.

Summary

Characteristics of the water quality in springs of Białystok

In the Białystok region there are many springs. The investigations were carried out on the chemical composition of water in four Quaternary springs with a discharge of 0.3−5.2 $dm^3 \cdot s^{-1}$. The springs are localized within the Białystok administrative borders. They are characterised by a low transformation of physico-chemical parameters presenting diionic, calcium bicarbonate hydrochemical type of water. Researched waters are characterised with a relatively little concentrations of macroelements (SO_4^{2-}, Cl^-, $N\text{-}NO_3$) what proves their good quality. Slightly exceeding values of the regional hydrochemical background scope are informing of early stages of transformation of the groundwater quality in the Białystok city.

Małgorzata Mazurek
Instytut Paleogeografii i Geoekologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza
61-680 Poznań, ul. Dzięgielowa 27, gmazurek@amu.edu.pl

4.7. Chemizm wypływów wód podziemnych w dorzeczu Parsęty (Pomorze Zachodnie)[5]

Wprowadzenie

Wody podziemne uczestniczą w procesach przemieszczania rozpuszczonej materii mineralnej i organicznej w zlewni, a ich mineralizacja uznawana jest w warunkach naturalnych za wskaźnik czasu i intensywności kontaktu wód podziemnych ze środowiskiem skalnym. Właściwości fizykochemiczne wód podziemnych kształtowane są przez szereg procesów wietrzenia chemicznego zachodzących w strefie aeracji i saturacji. Substancje rozpuszczone mogą pochodzić także z dostawy atmosferycznej, obiegu biologicznego, a na obszarach zurbanizowanych lub wykorzystywanych rolniczo coraz większego znaczenia nabiera dostawa antropogeniczna. Pochodzenie składników chemicznych w wypływach wód podziemnych może być identyfikowane z różnym stopniem pewności w zależności od skali i heterogeniczności obszarów zasilających wypływy wód, a także zastosowanych metod analitycznych. Na terenie Polski diagnoza stanu jakościowego zasobów wód podziemnych rzadko opiera się na badaniach źródeł i innych typów wypływów, gdyż monitoring hydrochemiczny wód źródlanych należy do rzadkości.

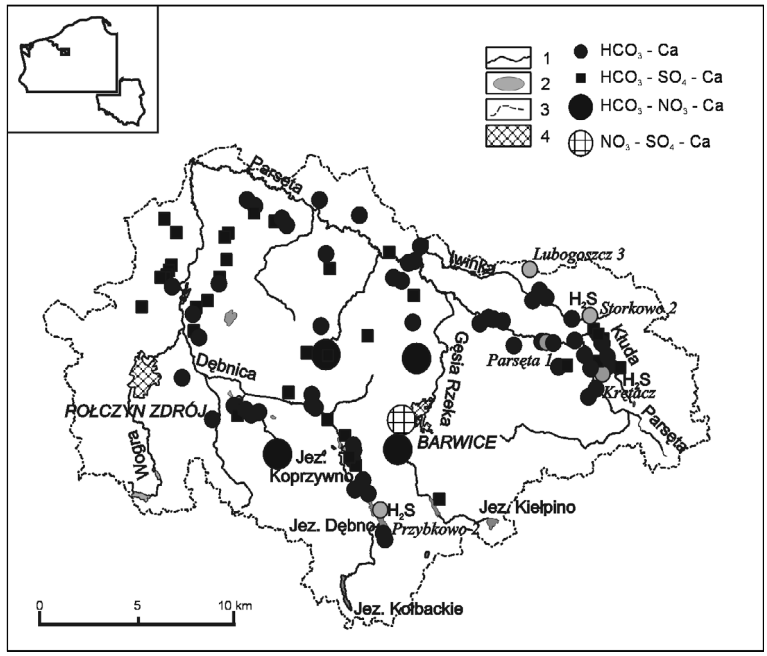
Dorzecze Parsęty nie było w zasadzie przedmiotem szczegółowych kartowań krenologicznych i hydrochemicznych, a w związku z tym brak danych o stanie jakości wód. Na Pojezierzu Drawskim prowadzone są sezonowe pomiary właściwości fizykochemicznych tylko dwóch wypływów wód podziemnych w ramach programu zintegrowanego monitoringu środowiska przyrodniczego w zlewni górnej Parsęty (Szpikowski i in. 1998). Głównym celem niniejszego opracowania jest rozpoznanie obecnego zróżnicowania przestrzennego cech fizykochemicznych wypływów wód podziemnych oraz wskazanie uwarunkowań

[5] Opracowanie wykonano w ramach projektu KBN 3PO4E 04323 pt.: „Rozwój obszarów źródliskowych rzek i ich znaczenie dla funkcjonowania systemu fluwialnego na obszarach młodoglacjalnych (Pomorze Zachodnie)"

naturalnych i antropogenicznych kształtujących skład chemiczny wypływów w południowej części dorzecza Parsęty. Uzyskane wyniki badań mogą stanowić podstawę analiz porównawczych pozwalających określić zachodzące zmiany jakości wód w związku z narastającą antropopresją na Pomorzu Zachodnim.

Obszar badań

Badaniami objęto południową część dorzecza Parsęty o pow. 617,2 km^2 położoną na pograniczu Pojezierza Południowobałtyckiego (Pojezierze Drawskie i Wysoczyzna Łobeska) oraz Pobrzeża Południowobałtyckiego (Równina Białogardzka − Kondracki 2000). Na obszarze badań, w trakcie kartowań krenologicznych w latach 2000–2004, zarejestrowano 117 naturalnych wypływów wód podziemnych w postaci źródeł, wycieków, młak oraz ich zgrupowań w źródliskach (ryc. 4.7.1). Obszary wysoczyzn morenowych pagórkowatych i falistych na Pojezierzu Drawskim zbudowane z miąższych (40–100 m) poziomów glin morenowych, pozbawione są generalnie wypływów wód podziemnych poza okresowymi źródłami i wyciekami. Występowanie wypływów związane jest przede wszystkim z siecią dolinną wykorzystującą szlaki odpływu marginalnego i rynny subglacjalne. Zgrupowane są one także w strefach krawędziowych wysoczyzn morenowych (m.in. w zlewni Kłudy i Iwinki), w dnach dolinek denudacyjno-erozyjnych, na stokach wzgórz kemowych i pagórków moren martwego lodu w okolicach Radomyśla, Borzęcina, Białowąsa i Kołacza.



Ryc. 4.7.1. Klasyfikacja hydrochemiczna wypływów wód podziemnych według Szczukariewa-Prikłońskiego
1 – cieki; 2 – jeziora; 3 – dział wodny; 4 – tereny miejskie
Fig. 4.7.1. Hydrochemical classification of groundwater outflows after Szczukariew-Prikłoński
1 – streams; 2 – lakes; 3 – watershed; 4 – urban area

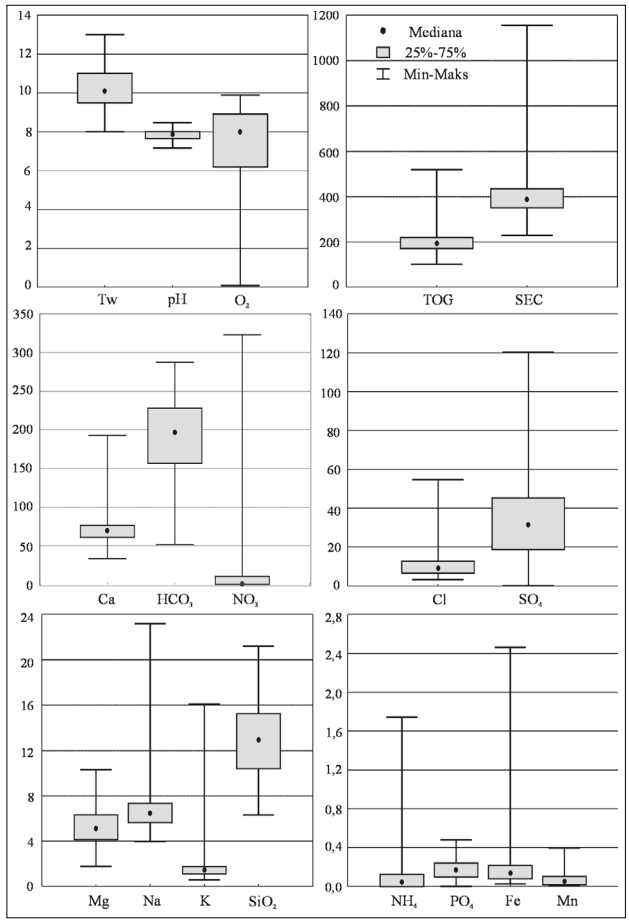
Zarejestrowane chwilowe wydajności wypływów są silnie zróżnicowane, co wynika m.in. z rodzaju i rozmiarów zbiorników wód podziemnych zasilających wypływy oraz warunków zasilania wodonośca. Kartowanie przeprowadzone we wrześniu 2004 r. wykazało dominację wypływów o niewielkiej wydajności <1 $dm^3 \cdot s^{-1}$ (41,9%). Tylko 9 wypływów (7,7%) miało wydajność powyżej 10 $dm^3 \cdot s^{-1}$. Mało wydajne wypływy są alimentowane z przypowierzchniowego poziomu wód podziemnych o lokalnym charakterze, który związany jest z płatami lodowcowych piasków żwirowo-pylastych, z piaskami, żwirami i mułkami pagórków kemowych i moren martwego lodu. Do obszarów uprzywilejowanych pod względem wydajności wypływów należy strefa równin erozyjno-akumulacyjnych wód roztopowych z systemem nadzalewowych teras rzecznych. Wypływy zasilane są z zasobnej serii piasków i żwirów wodnolodowcowych, tzw. górnych. W strefach krawędziowych wysoczyzn morenowych w południowo-zachodniej części zlewni oraz w południkowym odcinku doliny górnej Dębnicy o założeniu rynnowym, drenowane są wody wgłębne z warstwy wodnolodowcowych piasków i żwirów międzymorenowych przykrytych glinami zwałowymi fazy pomorskiej.

Metodyka badań

W celu rozpoznania właściwości fizykochemicznych wypływów wód podziemnych, we wrześniu 2004 r., w okresie jednorodnych warunków meteorologicznych, przeprowadzono kartowanie hydrochemiczne wszystkich zidentyfikowanych wypływów w badanej części zlewni Parsęty. Rok hydrologiczny 2004 należał, na obszarze badań, do lat przeciętnych pod względem warunków termicznych i wilgotnościowych. Kartowanie przeprowadzone w okresie przepływów niżówkowych Parsęty i niskich stanów wód podziemnych, pozwala na analizę wpływu uwarunkowań środowiskowych na jakość i ilość substancji rozpuszczonych w wodach wypływów. W terenie wykonano pomiary wydajności wypływów metodą konduktometryczną oraz mierzono temperaturę wody, pH, zawartość rozpuszczonego tlenu i przewodnictwo elektrolityczne właściwe z kompensacją do temperatury odniesienia 25°C. W pobranych 119 próbkach wody po filtracji przez sączki Whatmana o średnicy porów 0,45 μm, oznaczano makroskład jonowy (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{-}, K^{-}, HCO_3^{-}, Cl^{-}, SO_4^{2-}, stężenia jonów NO_3^{-}, NH_4^{+}, PO_4^{3-}, Fe_{og}, Mn i zjonizowanej krzemionki). Do oznaczeń składu chemicznego zastosowano metody analityczne zgodne z Polskimi Normami, przedstawione m.in. w opracowaniach Krawczyk (1992) i Hermanowicza i in. (1999). Prace laboratoryjne zostały wykonane w Stacji Geoekologicznej Instytutu Paleogeografii i Geoekologii (IPiG) UAM w Storkowie oraz laboratorium IPiG w Poznaniu.

Cechy fizykochemiczne wypływów wód podziemnych

Skartowane wypływy wód podziemnych o odczynie obojętnym lub słabo zasadowym, charakteryzowały się przewodnością właściwą wynoszącą 401,1 $\mu S \cdot cm^{-1}$, a wartości z przedziału 300–500 $\mu S \cdot cm^{-1}$ stanowiły 83,9% populacji. Szeroki zakres zmienności przewodności właściwej równy 927 $\mu S \cdot cm^{-1}$ (ryc. 4.7.2) wynikał z zanotowania w trakcie kartowania ekstremalnie wysokiej wartości 1156 $\mu S \cdot cm^{-1}$ na obszarze źródliskowym, w Piaskowej Górze, w okolicach Barwic. W składzie jonowym wypływów wód (z wyjątkiem stanowiska Piaskowa Góra) zaznaczył się dominujący udział kationów wapnia, a z anionów − wodorowęglanów. Dwujonowe wody wodorowęglanowo-wapniowe według klasyfikacji Szczukariewa-Prikłońskiego (Macioszczyk 1987) stwierdzono w przypadku 59% badanych wypływów (ryc. 4.7.1). Taki skład chemiczny jest charakterystyczny dla płytkich wód podziemnych w strefie hipergenezy oraz wód powierzchniowych na młodoglacjalnych obszarach pojeziernych zbudowanych z utworów zasobnych w węglan wapnia. W kilku przypadkach, przy wyczuwalnym zapachu H_2S, uznano, że są to wody wodoroweglanowo-wapniowe z siarkowodorem. Pozostała część wypływów, w trakcie kartowania hydrochemicznego, należała do typu wód wodorowęglanowo-siarczanowo-wapniowych (36,75%) oraz odbiegających w znacznym stopniu od typów naturalnych: wód wodorowęglanowo-azotanowo-wapniowych (3,2%) i azotanowo-siarczanowo-wapniowych (0,85% – 1 przypadek, ryc. 4.7.1).



Ryc. 4.7.2. Zróżnicowanie parametrów fizykochemicznych wypływów wód podziemnych, wrzesień 2004 r.
Jednostki miar: Temp. [ºC], O_2 [$mg \cdot dm^{-3}$], TOG [$mval \cdot dm^{-3}$], SEC [$\mu S \cdot cm^{-1}$], pozostałe [$mg \cdot dm^{-3}$]
Fig. 4.7.2. Variability of physicochemical properties in groundwater outflows, September 2004
Units of measurement: Temp. [ºC], O_2 [$mg \cdot dm^{-3}$], TOG [$mval \cdot dm^{-3}$], SEC [$\mu S \cdot cm^{-1}$], others [$mg \cdot dm^{-3}$]

Skład chemiczny

Związek między przewodnością właściwą a stężeniami poszczególnych makroskładników jonowych jest najsilniejszy dla kationów wapniowych, magnezowych i anionów chlorkowych, co wskazuje na ich podobieństwo w rozkładzie przestrzennym. Wysoka wartość współczynnika korelacji dla zależności Ca – TOG (r=0,98), przy niższych dla HCO_3 – TOG (r=0,56) i Ca – HCO_3 (r=0,50), pozwala sądzić, że twardość ogólna w badanych wodach była nie tylko efektem rozpuszczania węglanu wapnia. Wskaźnik rCa/rHCO_3 w 89 wypływach był większy od 1, co wskazuje, że wapń odprowadzany przez wody podziemne jest związany także z siarczanami, chlorkami lub azotanami. Za wysoką twardość ogólną (średnia 3,9 mval·dm^{-3}) odpowiedzialny jest głównie jon wapniowy (średnia 70 mg·dm^{-3}), przy mniejszym udziale jonu magnezowego (średnia 5,2 mg·dm^{-3}).

Pod względem wielkości stężeń, drugim anionem w badanych wodach pozostaje anion siarczanowy, którego stężenie zmieniało się od 0,1 do 120,1 mg·dm^{-3} (średnia 34,1 mg·dm^{-3}, ryc. 4.7.2). Wysokie stężenia tego anionu zanotowano w stanowiskach położonych w sąsiedztwie wsi: Parchlino (nad jez. Koprzywno), Przybkowo i Ostre Dębno. Prawdopodobnie zanieczyszczenia bytowe przy dobrej przepuszczalności i szybkim krążeniu wód w utworach piaszczystych, kształtują wysoką zawartość SO_4^{2-} w wodach badanych wypływów. Na stężenia siarczanów w wodach gruntowych wpływa także naturalny rozkład substancji organicznej w warunkach utleniających, czemu sprzyja na obszarze badań mozaikowe występowanie osadów organicznych w licznych zagłębieniach bezodpływowych, w dolinach cieków, jak i w bezpośrednim otoczeniu wypływów. Zachodząca wraz z głębokością zmiana warunków na bardziej redukcyjne powoduje natomiast procesy desulfatyzacji, prowadzące do wzbogacenia wód podziemnych w H_2S kosztem jonów SO_4^{2-}. Brak siarczanów w wodach podziemnych, przy obecności siarkowodoru uznawany jest za wskaźnik występowania warunków redukcyjnych (Macioszczyk, Dobrzyński 2002).

Przykładem takiego wypływu wód, gdzie niskie stężenie SO_4^{2-} (4,6 mg·dm^{-3}), jest efektem redukcji siarczanów i powstawania siarkowodoru, jest stanowisko Przybkowo 2, na zboczu misy jeziora Dębno (ryc. 4.7.1). Wypływ ten o charakterystycznym łatwo wyczuwalnym zapachu H_2S, cechowała niska zawartość rozpuszczonego tlenu, która wynosiła ok. 1,4 mg·dm^{-3} przy pH 7,16 (tab. 4.7.1). Na drodze odpływu wody widoczny jest biały nalot bakterii siarkowych. Charakter redukcyjny w strefie wypływu potwierdza także wysoka zawartość jonów amonowych przy braku azotanów. Podobny układ stężeń występuje w wypływach basenowych (limnokrenach) na stanowiskach: Parsęta 1, Krętacz, Lubogoszcz 3, Storkowo 2 (tab. 4.7.1; lokalizacja stanowisk na ryc. 4.7.1).

Tabela 4.7.1

Właściwości fizykochemiczne wód w źródłach basenowych oraz wypływu Przybkowo 2 (wrzesień 2004 r.)

Physico-chemical properties of waters in limnokrens and in the Przybkowo 2 outflow, (September 2004)

Parametr	Jednostka	Lubogoszcz 3	Parsęta 1	Krętacz	Storkowo 2	Przybkowo 2
Temp.	ºC	9,0	9,2	9,1	8,0	10,0
pH	-	7,5	7,5	7,7	7,3	7,2
O_2	$mg \cdot dm^{-3}$	1,3	1,5	0,8	0,9	1,4
TOG	$mval \cdot dm^{-3}$	3,6	4,5	3,7	4,3	3,2
Ca^{2+}	$mg \cdot dm^{-3}$	66,4	78,3	63,1	75,0	61,2
Mg^{2+}	$mg \cdot dm^{-3}$	6,1	6,7	6,6	5,4	2,5
Na^{+}	$mg \cdot dm^{-3}$	5,9	7,2	10,1	6,0	4,0
K^{+}	$mg \cdot dm^{-3}$	1,5	1,7	1,5	1,4	2,2
NH_4^{+}	$mg \cdot dm^{-3}$	0,4	0,5	0,4	0,8	1,7
HCO_3^{-}	$mg \cdot dm^{-3}$	238,5	283,7	239,1	270,2	200,7
Cl^{-}	$mg \cdot dm^{-3}$	5,9	4,7	4,0	8,2	5,8
SO_4^{2-}	$mg \cdot dm^{-3}$	5,4	0,9	3,5	3,4	4,6
NO_3^{-}	$mg \cdot dm^{-3}$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PO_4^{3-}	$mg \cdot dm^{-3}$	0,1	0,2	0,3	0,1	0,5
SEC	$\mu S \cdot cm^{-1}$	382	432	363	389	327
Fe_{og}	$mg \cdot dm^{-3}$	0,2	0,7	0,4	2,5	0,2
Mn	$mg \cdot dm^{-3}$	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1

Rozkład przestrzenny jonów siarczanowych pozostaje istotnie skorelowany z rozkładem jonów chlorkowych (r=0,76). Stężenia Cl^{-} w 89% mieściły się w zakresie od 2 do 20 $mg \cdot dm^{-3}$, a różnica między średnią a medianą dla tego jonu osiągnęła ok. 2 $mg \cdot dm^{-3}$ (ryc. 4.7.2). Jony chlorkowe zaliczane jest do najaktywniejszych migrantów wodnych, generalnie niebiorących udziału w glebowych procesach adsorpcyjno-wymiennych. Jony chlorkowe wraz z jonami sodowymi dostarczane są do zlewni wraz z opadami atmosferycznymi, a ich zawartość wzrasta podczas obiegu wody wskutek uruchomienia jonów suchej depozycji, a na obszarach rolniczych poprzez dostawę z nawozami. W badanych wypływach wód podziemnych jon Na^{+} wykazywał dwukrotnie mniejszy zakres zmienności w stosunku do jonu chlorkowego.

Niskie stężenia związków potasu w wodach gruntowych związane są przede wszystkim ze znaczeniem, jakie ma ten pierwiastek w obiegu biologicznym. W większości stanowisk, stężenie tego kationu było w granicach 1–2 $mg \cdot dm^{-3}$.

Lokalnie podwyższona zawartość potasu na badanym obszarze sugeruje dostawę z ognisk antropogenicznych (m.in. z nawożenia mineralnego i organicznego).

Zjonizowana krzemionka występuje w ilościach śladowych w wodach opadowych, opadzie śródkoronowym i spływie po pniach, a jej koncentracja wzrasta znacząco dopiero podczas infiltracji w głąb podłoża, osiągając maksymalne wartości w strefie wód podziemnych (Mazurek 2000). Notowany podczas badań zakres zmienność SiO_2 od 6,3 do 21,2 mg·dm^{-3} jest wynikiem zasilania wypływów przez wody o różnym czasie i różnych drogach krążenia w zlewni. Rozkład SiO_2 wykazuje najsilniejszy związek ze stężeniami jonów wodorowęglanowych, czyli jonów o pochodzeniu wietrzeniowym. Niskie stężenie SiO_2 w wypływach może wskazywać na krótki czas krążenia wód w osadach o dużej przepuszczalności, co ze względu na niską rozpuszczalność minerałów, niskie pH (<8,5) i wolne tempo reakcji nie pozwala na szybkie wzbogacenie migrujących wód w SiO_2.

Metale ciężkie

Wody wypływów zawierały śladowe ilości Fe_{og} i Mn. Stężenie żelaza w 73,7% przypadków było niższe niż 0,1 mg·dm^{-3}, a wyższe wartości zanotowano w dolinie górnej Dębnicy i w północno-wschodniej części obszaru. Jedynie w trzech przypadkach stwierdzono stężenia Fe_{og} przekraczające 1 mg·dm^{-3}. Zróżnicowanie zawartości żelaza w obrębie tej samej warstwy wodonośnej może wynikać nawet z niewielkich zmian warunków hydrogeochemicznych (szczególnie pH i Eh). Dlatego położone blisko siebie wypływy mogą znacznie różnić się stężeniami Fe_{og}. W miejscach wypływów wód, na przejściu ze strefy o warunkach redukcyjnych do strefy o warunkach silniej utleniających, następuje utlenienie żelaza dwuwartościowego do trójwartościowego i wytrącenie wodorotlenków żelaza. Znaczący wpływ na stężenie żelaza w wodzie może mieć także biodegradacja substancji organicznej zachodząca przy udziale bakterii żelazistych. Samożywne bakterie żelaziste, czerpiące energię do swoich procesów życiowych z procesów utleniania żelaza, przyczyniają się również do wytrącania z wody koloidalnego $Fe(OH)_3$. W strefach wypływów, wodorotlenek żelaza często tworzył rdzawe wytrącenia, czasami w postaci koloidalnych kłaczków lub nalotów na kamieniach i roślinności, przechodząc w ochrowy limonityczny osad (Rajchel, Rajchel 1999).

Podobnie jak w przypadku Fe_{og}, większość wypływów nie zawierała manganu w ilościach większych niż 0,1 mg·dm^{-3}. W wodach czwartorzędowych Polski (Macioszczyk, Dobrzyński 2002) wyższe stężenia Mn notowane są w aluwiach zawierających materię organiczną (do 0,4 mg·dm^{-3}), niższe w utworach wodnolodowcowych (tzw. dolnych) przykrytych glinami zwałowymi (0,19 mg·dm^{-3}) i w utworach wodnolodowcowych tzw. górnych (0,1 mg·dm^{-3}). Strefa wyższych

stężeń (>0,2 mg·dm^{-3}) związana była z wypływami położonymi w północnej części badań w dolinie Parsęty, Kłudy i Iwinki, które zasilane są głównie z piasków i żwirów w obrębie równiny wód roztopowych i terasów rzecznych. Zawartość manganu wykazywała istotną korelację (r=0,52) z zawartością żelaza, co wynika z naturalnego powinowactwa geochemicznego tych metali.

Substancje biogenne

W wodach wypływów oznaczono również związki biogenne, które przyczyniają się do eutrofizacji wód powierzchniowych, czyli azotany i fosforany. Stężenie fosforanów w ok. 84% stanowisk były niższe od 0,3 mg·dm^{-3}. Najwyższą koncentrację >0,4 mg·dm^{-3} stwierdzono w zlewni Dębnicy. Niskie stężenia PO_4^{3-} w wodach podziemnych wynikają m.in. z udziału fosforu w obiegu biologicznym i jego sorpcji w glebie, a lokalnie notowany wzrost stężeń następuje w wyniku dopływu zanieczyszczeń: ścieków bytowych i hodowlanych.

Azot w wodach podziemnych występuje w rozpuszczalnych w wodzie związkach organicznych (w tych badaniach nieoznaczono), które stopniowo w wyniku mineralizacji substancji organicznej w środowisku utleniającym i przy udziale bakterii przechodzą w formy mineralne. Z form mineralnych oznaczono pochodzący z zanieczyszczeń azot amonowy i azot azotanowy. Analiza azotu amonowego wykazała, że w 31 stanowiskach jego zawartość była niższa od dolnej granicy detekcji <0,01 mg·dm^{-3}, a w pozostałych średnie stężenie wynosiło 0,1 mg·dm^{-3} (ryc. 4.7.2). Najwyższą wartość NH_4^+ – 1,75 mg·dm^{-3} zanotowano w wycieku zlokalizowanym na zboczu misy jeziora Dębno (stanowisko Przybkowo 2). W czasie krążenia wód podziemnych przy dobrym ich natlenieniu, azot amonowy, w wyniku nitryfikacji, utlenia się do azotu azotanowego, który łatwo migruje w wodach i w niewielkim stopniu podlega sorpcji. Dlatego też, wysokie stężenia jonów amonowych wiązane są z występowaniem świeżych i bliskich ognisk zanieczyszczeń. Stężenia azotu amonowego wykazują odwrotnie proporcjonalną zależność (r=-0,42) z zawartością rozpuszczonego tlenu. Najwyższe stężenia tego jonu stwierdzono w wypływach o obniżonej ilości tlenu rozpuszczonego, a zwłaszcza w obrębie źródeł basenowych z ascensyjnym wypływem.

Do wód podziemnych migrują najbardziej stabilne i trwałe formy występowania azotu czyli azotany, które nie są sorbowane przez minerały ilaste lub substancję organiczną w glebie. Zawartość azotanów na badanym obszarze charakteryzowała się bardzo dużym zróżnicowaniem, od stężeń poniżej dolnego progu detekcji do 323 mg·dm^{-3}. Przy najwyższym, wśród badanych parametrów, współczynniku zmienności, średnie stężenie wynosiło 12,0 mg·dm^{-3}, a mediana zaledwie 1,1 mg·dm^{-3} (ryc. 4.7.2). Azotany jako istotny element obiegu biologicz-

nego uwalniany w wyniku mineralizacji substancji organicznej, występuje w wodach nieprzeobrażonych antropogenicznie w bardzo niskich stężeniach (zakres tła hydrogeochemicznego 0–1 $mg \cdot dm^{-3}$; według Witczaka i Adamczyka, 1995).

Na badanym obszarze dominowały wypływy (73,7%) o zawartości NO_3^- poniżej 10 $mg \cdot dm^{-3}$. W zaledwie sześciu przypadkach zlokalizowanych w zlewni Dębnicy koncentracje azotanów były wyższe od 50 $mg \cdot dm^{-3}$. Wody w tych stanowiskach o wysokim stężeniu azotu azotanowego, przy bardzo niskich zawartościach azotu amonowego, wskazują na odległe w czasie ogniska zanieczyszczeń i potwierdzają długotrwałą presję człowieka na jakość przypowierzchniowych wód podziemnych. Antropogenicznym ogniskiem azotanów na obszarze zlewni są nawozy organiczne i mineralne, wylewiska ścieków, ścieki bytowe oraz imisje z atmosfery. W ostatnich latach obserwuje się, na obszarze zlewni Parsęty, stopniowy wzrost związków azotu dostarczanych przez wody opadowe. Zawartość azotanów w wodach opadowych mierzonych na posterunku meteorologicznym w Stacji Geoekologicznej w Storkowie w latach 2000–2004 wyniosła średnio 1,9 $mg \cdot dm^{-3}$ (Szpikowski i in. 2006). Podobny trend notowany jest obecnie w wielu regionach Polski (Żelazny 2005). Stężenia jonów azotanowych wykazują także istotną korelację m.in. z jonami potasowymi (r=0,85), sodowymi (r=0,65) i chlorkowymi (r=0,69), których obecność uznawana jest za wskaźnik zanieczyszczenia wód. Maksymalne stężenia jonów NO_3^- : 323 $mg \cdot dm^{-3}$ zanotowano na wymienionym powyżej stanowisku Piaskowa Góra, gdzie drenowane są wody gruntowe zanieczyszczone przez ścieki hodowlane i gnojowicę z zakładu hodowlanego zlokalizowanego na obszarze alimentującym ten wypływ.

Kierunek przemian związków azotu uzależniony jest od warunków utleniająco-redukcyjnych i rozwoju mikroorganizmów. W warstwach wodonośnych, gdzie panują warunki redukcyjne występuje proces denitryfikacji prowadzący do obniżenia stężeń azotanów w wodach. W wyniku tzw. denitryfikacji chemicznej następuje redukcja azotanów do azotu gazowego połączona z utlenianiem siarczków do siarczanów lub Fe^{2+} do $Fe(OH)_3$. W warunkach znacznego obniżenia Eh, pod wpływem materii organicznej, siarkowodoru lub żelaza dwuwartościowego może także następować redukcja azotanów do jonów amonowych (Żurek 2002). Proces ten odpowiedzialny jest z pewnością za niskie stężenia azotanów w obrębie źródeł basenowych (np. stanowiska Parsęta 1, Krętacz, Lubogoszcz 3, Storkowo 2, tab. 4.7.1), charakteryzujących się warunkami redukcyjnymi przy wysokich stężeniach NH_4^+. W takich sytuacjach wysokie stężenia jonów amonowych wskazują na środowisko redukcyjne, a nie wynikają z obecności bliskich ognisk zanieczyszczeń.

Podsumowanie

Właściwości fizykochemiczne wód wypływów pozostają pod wpływem różnych składników środowiska przyrodniczego i odzwierciedlają lokalne lub regionalne zmiany w zasilaniu wód podziemnych wywołane czynnikami pogodowymi i/lub działalnością człowieka.

Chemizm wypływów wód podziemnych w młodoglacjalnej zlewni Parsęty kształtowany jest głównie w systemie płytkiego krążenia wód, w osadach morenowych i fluwioglacjalnych przez infiltrujące wody opadowe. Powolna migracja wody w półprzepuszczalnych osadach gliniastych stwarza większe możliwości wzbogacania się wód infiltracyjnych w produkty ługowania glin morenowych, przede wszystkim w wapń i wodorowęglany, w stosunku do wód krążących w mało zasobnych w związki rozpuszczalne piaskach i żwirach fluwioglacjalnych. Przypowierzchniowy poziom pozostaje pod wpływem antropopresji o charakterze lokalnym i regionalnym, która wiąże się ze ściekami pochodzenia bytowego w sąsiedztwie skupionego osadnictwa, zanieczyszczeniami rolniczymi związanymi z hodowlą lub składowaniem nawozów, wywozem gnojowicy na pola oraz intensywną hodowlą.

Badane wody podziemne charakteryzowały się mozaikowym zróżnicowaniem zawartości chlorków, siarczanów, azotanów, sodu i potasu, czyli jonów, których występowanie najbardziej odzwierciedla wpływ czynników antropogenicznych na chemizm wód. W wypływach najsilniej zmineralizowanych, o wysokich wartościach przewodności właściwej, jony o genezie antropogenicznej (azotany, siarczany) dominowały nad pozostałymi makroskładnikami. Przejawem zanieczyszczeń jest też występowanie wielojonowych klas hydrochemicznych wód.

Na obszarze badań rozprzestrzenianiu zanieczyszczeń sprzyja brak izolacji warstw wodonośnych oraz dobre warunki migracji jonowej występujące w osadach piaszczysto-żwirowych. Gleby piaszczyste, o dobrej przepuszczalności mają niewielkie zdolności retencyjne, m.in. w stosunku do jonów siarczanowych czy potasowych, co prowadzi do wymywania tych związków do poziomu wód gruntowych. Szczególnie zagrożone są wody płytkie, występujące do głębokości 5 m. Zanieczyszczenie wód podziemnych międzymorenowych obserwowane w wypływach drenujących ten poziom, może wynikać z obecności okien hydrogeologicznych w glinach zwałowych lub z utraty izolacji w wyniku eksploatacji tego poziomu.

Zróżnicowanie litologiczne i hydrogeologiczne obszaru badań warunkuje naturalne procesy hydrogeochemiczne kształtujące chemizm wód podziemnych drenowanych przez wypływy, ale także w związku z różną izolacją zbiorników wód podziemnych decyduje o wpływie zanieczyszczeń antropogenicznych na właściwości fizykochemiczne wód. Podwyższone, a miejscami znacznie przekro-

czone stężenia K^+, Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^- uwarunkowane głównie użytkowaniem terenu i rozmieszczeniem osadnictwa, powinny być uwzględnione m.in. w planowaniu zagospodarowania zlewni wypływów, tak aby stan jakości wód nie ulegał pogorszeniu i zachowane zostało ich znaczenie ekologiczne.

Summary

Chemistry of groundwater outflows in the Parsęta catchment (West Pomerania)

The main aim of the study is to identify physico-chemical properties of groundwater outflows and to determine factors controlling their chemical composition in the postglacial area. The research covered the southern part of the Parsęta catchment lying in the Drawsko Lakeland, Białogard Plain and Łobez Upland. During hydrochemical mapping, 119 natural groundwater outflows were sampled. Outflows concentrate on the slopes of ice-marginal valleys and subglacial tunnels, on scarps of morainic uplands, slopes of kame and crevasse landforms, on erosional-denudational dissections. Outflows with a discharge below 1 $dm^3 \cdot s^{-1}$ predominate (41.9%), while outflows with a discharge of over 10 $dm^3 \cdot s^{-1}$ constitute a merely 7.7%.

Undergroun dwater outflows with a neutral or weakly alkaline reaction are characterised by a specific electrical conductuctivity of 401.1 $\mu S \cdot cm^{-1}$. The predominant ions in them are calcium cations and bicarbonate anions. The chemistry of groundwater outflows in the postglacial Parsęta catchment follows largely from the shallow circulation system of rainwater infiltrating through morainic and glaciofluvial deposits. With a slow migration of water, there are more opportunities for infiltration water to become enriched with products of till leaching (Ca^{2+} and HCO_3^-) than for waters circulating in mineral-poor glaciofluvial sands and gravels. The studied outflows display mosaic-like spatial variability in their levels of chlorides, sulphates, nitrates, sodium, and potassium, i.e. ions which presence reflects the location of local and regional pollution sources. What facilitates pollution spreading in the studied area is the lack of isolation of the water-bearing horizons, while sand and gravel deposits create good conditions for ion migration.

Bożena Czarnecka
Zakład Ekologii, Uniwersytet Marii Curie Skłodowskiej
20-033 Lublin, ul. Akademicka 19, boczar@biotop.umcs.lublin.pl

Bronisław Janiec
Zakład Hydrografii, Uniwersytet Marii Curie Skłodowskiej
20-033 Lublin, ul. Akademicka 19, brjan@hektor.umcs.lublin.pl

4.8. Wpływ wód źródlanych na zróżnicowanie roślinności przełomów rzecznych strefy krawędziowej Roztocza Tomaszowskiego

Wstęp

Naturalne wypływy wód podziemnych, zarówno skoncentrowane (źródła), jak i nieskoncentrowane (wycieki, wysięki, młaki), odgrywają istotną rolę w zachowaniu różnorodności na poziomie gatunkowym, ekosystemowym i krajobrazowym. Wobec procesu zanikania źródeł, a zwłaszcza zagrożenia tych siedlisk na skutek działalności człowieka (m.in. odwadnianie obszarów hydrogenicznych, chemizacja rolnictwa, budowa obiektów małej retencji, obudowa i zaśmiecanie źródeł powodujące ich ruderalizację), coraz częściej stają się one obiektami badań przyrodniczych, dających podstawę do podjęcia działań ochronnych (Biesiadka, Czachorowski 1999; Pawlaczyk i in. 2001).

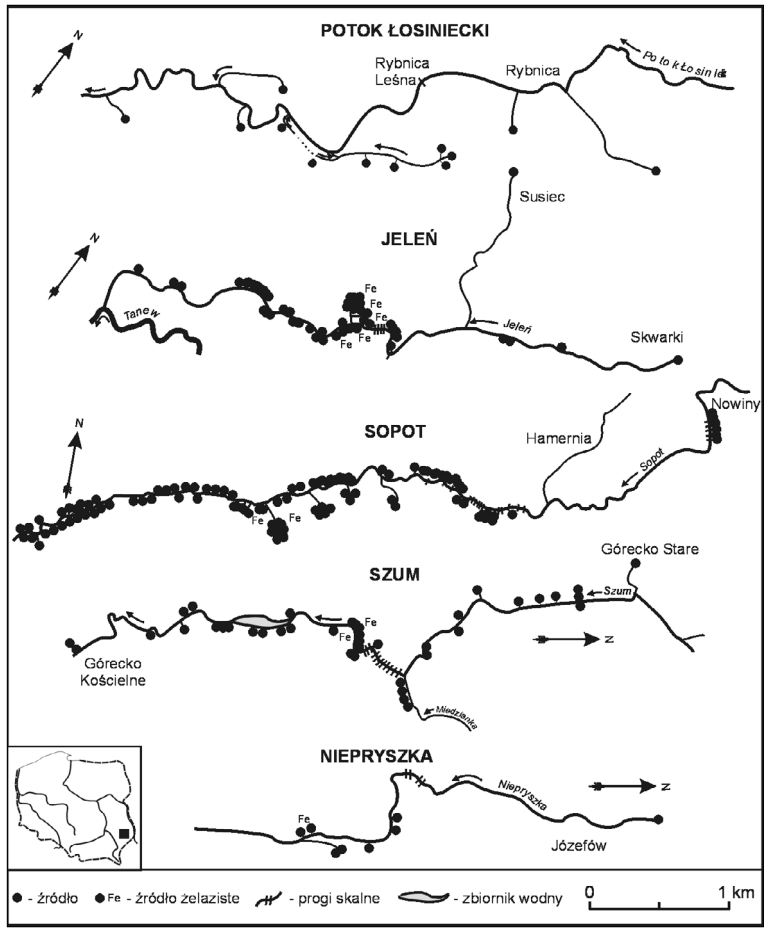
Związane ze źródłami formy geomorfologiczne (nisze źródliskowe) wraz z towarzyszącą im swoistą roślinnością, wyodrębniają się w postaci struktur krajobrazowych o różnej skali przestrzennej, zależnej od rozmiarów wypływu i wielkości odpływu. Oddziaływanie wód źródlanych nie ogranicza się jednak do najbliższego otoczenia wypływu, inaczej mówiąc – „źródło nie żyje samo dla siebie". Celem niniejszej pracy jest zatem odpowiedź na następujące pytania:

- Jak dalece może sięgać wpływ wód źródlanych na kształtowanie się układów przestrzennych roślinności oraz jej zróżnicowanie gatunkowe i ekologiczne?
- Czy znajomość charakteru wód (ich pochodzenia oraz właściwości fizykochemicznych) może ułatwić delimitację granic układów przestrzennych roślinności?

Teren badań, obiekty i metody

Południowy uskok Roztocza, odcinający ten region od Niziny Sandomierskiej, należy do najdłuższych form tektoniki uskokowej w południowej Polsce. Wiek odmłodzenia krawędzi datowany jest na miocen (górny torton/dolny messyn). Wzmożonej aktywności tektonicznej dolnego messynu towarzyszyła sedymentacja skał węglanowych, głównie wapieni litotamniowo-detrytycznych, raf biogenicznych, lokalnie utworów piaszczystych, a na styku z Niziną Sandomierską również iłowców i mułowców messyńskich, zwanych też iłami krakowieckimi (Peryt i in. 1998; Czarnecka, Janiec 2002; Janiec, Czarnecka 2006a,b).

Strefa krawędziowa należy do obszarów o dużym zasilaniu wodami podziemnymi, które sięga 80% (Janiec 1984, 1997; Michalczyk 1986). W zdecydowanej przewadze jest to zasilanie punktowe (ryc. 4.8.1), co odzwierciedla wskaźnik uźródłowienia (iloraz liczby źródeł i długości odcinka rzeki). Dla przełomów prawobrzeżnych dopływów Tanwi, tnących krawędź strukturalno-geologiczną Roztocza Tomaszowskiego, przyjmuje on następujące wartości (idąc z biegiem rzeki): Potok Łosiniecki – 2,7; Jeleń – 10,5; Sopot – 21; Szum – 8,1; Niepryszka – 2,3 źr/km długości cieku (Czarnecka, Janiec 2002).



Ryc. 4.8.1. Rozmieszczenie źródeł w przełomach rzecznych strefy krawędziowej Roztocza Tomaszowskiego (Czarnecka, Janiec 2002, nieco zmienione)

Fig. 4.8.1. Distribution of springs in the river breaks of the Roztocze Tomaszowskie escarpment zone (Czarnecka, Janiec 2002, slightly changed)

Doliny tych cieków charakteryzują się powtarzalnym układem przestrzennym (toposekwencją) zbiorowisk roślinnych, odzwierciedlającym strefowość i stratyfikację warunków hydrogeochemicznych danego obiektu (Czarnecka, Janiec 1999a, 2006). W niniejszym opracowaniu przedmiotem zainteresowania jest zróżnicowanie roślinności źródeł i cieków o dużym zasilaniu źródlanym oraz zbiorowisk leśnych, których siedliska, a poprzez nie również skład i fizjonomię, kształtują w znacznym stopniu wody źródlane. Szczegółową metodykę badań przedstawiono we wcześniejszych pracach (m.in. Czarnecka, Janiec 1999a, 2001, 2002). Nomenklaturę roślin naczyniowych podano według Mirka i in. (2002), mszaków według Ochyry i in. (2003), jednostek syntaksonomicznych za Matuszkiewiczem (2005) i Brzegiem (1990), zaś gleb za Trzcińskim (1989).

Roślinność źródlisk

Źródłom towarzyszy roślinność związana z dobrze natlenioną wodą o odczynie obojętnym lub słabokwaśnym. Najbardziej „typowym", dla niewielkich nisz źródliskowych o podłożu piaszczystym, jest zbiorowisko rzeżuchy gorzkiej i śledziennicy skrętolistnej *Cardamine amara-Chrysosplenium alternifolium* (fot. 4.8.1). W niektórych niszach wykształcają się zimozielone płaty zespołu rzeżuchy gorzkiej i potocznika wąskolistnego *Cardamino (amarae)-Beruletum erecti*, zwykle o mało zróżnicowanym składzie florystycznym, tj. zdominowane przez potocznik wąskolistny lub przetacznik bobowniczek *Veronica beccabunga* (fot. 4.8.2). Odpływom wód źródlanych towarzyszą najczęściej fitocenozy zespołu manny fałdowanej *Glycerietum plicatae* (fot. 4.8.3). Zróżnicowanie florystyczne i fitosocjologiczne roślinności nisz źródliskowych, w zależności od charakteru wód, przedstawiono na przykładzie 12 wypływów w miejscu przełomu rzeki Sopot (tab. 4.8.1, 4.8.2). Ogółem stwierdzono 69 taksonów roślin, w tym 50 naczyniowych i 19 mszaków. Bogatą warstwę mszystą budują głównie tzw. mchy brunatne z rodzajów *Plagiomnium* i *Rhizomnium* oraz wątrobowce, m.in. *Conocephalum conicum* i *Pellia epiphylla*. Mchy torfowe (*Sphagnum palustre*, *Sph. squarrorum*), związane są z podłożem o składzie granulometrycznym piasków słabogliniastych i gliniastych (tab. 4.8.1–2, źródła 7, 8).

W dużych niszach źródliskowych, o powierzchni kilkuset metrów kwadratowych, powstają zazwyczaj fitocenozy o charakterze agregacyjnym lub synuzjalnym. Dla przykładu, w źródlisku Jelenia w Suścu-Skwarkach, wzdłuż wypływów wód, rozwinęły się płaty szuwaru *Glycerietum plicatae*. Towarzyszą im fitocenozy zespołu wierzbownicy kosmatej i trędownika skrzydlastego *Calystegio-Epilobietum hirsuti* o fizjonomii bujnych ziołorośli, z udziałem wielkich turzyc (fot. 4.8.4). W rozległej strefie źródeł podstokowych na lewym brzegu doliny Potoku Łosinieckiego, w Rybnicy Leśnej, nieco poniżej progu skalnego (ryc. 4.8.1), w nurcie wód

źródlanych oraz w miejscach ich rozlewania się po niszy, wykształciły się synuzja gatunków składowych kilku zbiorowisk: *Cardamine amara-Chrysosplenium alternifolium*, *Glycerietum plicatae* i *Cardamino-Beruletum erecti*. Pomiędzy nimi rozwinęły się ugrupowania wysokopiennych bylin, z przewagą mięty długolistnej *Mentha longifolia* (pokrycie 60–90%). W okresie letnim maskują one zupełnie roślinność warstwy przyziemnej związaną z płynącymi wodami źródlanymi. W warstwie mszystej, w odróżnieniu od małych nisz źródliskowych, dominują *Calliergonella cuspidata* i *Rhytidiadelphus triquetrus*.

W dolinie Sopotu, szczególnie wzdłuż odpływów ze źródeł zawieszonych w górnej części największej z lewobrzeżnych dolin bocznych (ryc. 4.8.1), zwracają uwagę płaty ziołorośli z panującym lepiężnikiem białym *Petasites albus* (fot. 4.8.5). Gatunek ten związany jest z zasilaniem wodami dobrze natlenionymi, o wyjątkowo wyrównanej temperaturze (ok. 6–9,5°C w skali roku), przy czym litologia skał wodonośnych i wydajności wypływów nie odgrywa tu roli. W strefie źródliskowej woda i gleba praktycznie nigdy nie zamarzają, a samorzutne procesy wymiany energii cieplnej w interfazach: woda – ryzosfera – warstwa przygruntowa powietrza, wywołują w okresie chłodów swoisty efekt cieplarniany. Umożliwia to lepiężnikowi bardzo wczesną wegetację i zakwitanie już w marcu-kwietniu, tym bardziej, że przyszłoroczne struktury morfologiczne są już uformowane w okresie jesiennym poprzedniego roku (fot. 4.8.6).

Roślinność cieków o dużym zasilaniu źródlanym

Interesującym zjawiskiem jest masowe występowanie w nurcie rzeki Jeleń płatów roślinności zimozielonej związanej zwykle ze źródliskami, a należącej do asocjacji *Cardamino-Beruletum erecti* (tab. 4.8.3). Fitocenozy tego zespołu buduje od kilku do kilkunastu taksonów roślin naczyniowych (łącznie w 5 badanych płatach odnotowano 20 gatunków), przy braku warstwy mszystej. Wyraźnym dominantem jest potocznik wąskolistny (fot. 4.8.7), zaś drugi z gatunków charakterystycznych – rzeżucha gorzka – nie jest stałym składnikiem tych fitocenoz. W górnym i środkowym biegu rzeki bujna roślinność zajmuje od 2/3 do 3/4 szerokości koryta rzeki, pozostawiając otwartym tylko najgłębszy i najbardziej wartki nurt (fot. 4.8.8). Sytuacja ta zmienia się stopniowo dopiero w dolnym biegu Jelenia (fot. 4.8.9, 4.8.10).

Tabela 4.8.1

Skład florystyczny roślinności źródlisk w strefie przełomu rzeki Sopot[6]
The floristic composition of spring vegetation in break section of the Sopot river

Numer źródła	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pokrycie warstwy B w%	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.
Pokrycie warstwy C w%	70	60	80	50	70	80	70	60	40	70	70	90
Pokrycie warstwy D w%	20	30	60	70	30	60	60	10	20	40	30	+
Liczba gatunków w zdjęciu	18	14	13	15	17	15	16	27	23	30	13	5
Cl. Montio-Cardaminetea												
Rhizomnium punctatum	.	2	+	.	1	.	1	1	.	.	.	.
Chrysosplenium alternifolium	1	2	.	1	1	1	3	.	+	1	+	.
Impatiens noli-tangere	3	2	7	2	5	5	3	3	3	2	.	.
Pellia epiphylla	+	.	.	.	+	.	.	+	3	1	.	.
Cardamine amara	.	.	.	+	+	.	+	+	.	+	+	.
Cl. Phragmitetea												
Poa palustris	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.
Veronica beccabunga	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	4	.
Glyceria plicata	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	2
Berula erecta	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	9
Sporadyczne: *Equisetum fluviatile* 2/+, *Rumex hydrolapathum* 10/+												
Cl. Molinio-Arrhenatheretea												
Cirsium oleraceum	+	1	.	.	.	.	.	2	1	3	.	.
Equisetum palustre	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+	1	.
Sporadyczne: *Deschampsia caespitosa* 8/1, *Juncus effusus* 10/+												
Cl. Alnetea glutinosae												
Solanum dulcamara	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.
Plagiomnium undulatum	2	2	1	+	2	2	+	1	.	1	3	+
Stellaria nemorum	+	.	+	+	1	1	+	.	.	1	3	.
Circaea lutetiana	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1	.	.
Carex remota	.	.	.	.	.	.	.	+	1	.	.	.
Sporadyczne: *Calamagrostis canescens* 8/+, *Circaea alpina* 9/+, *C. intermedia* 10/+, *Lycopus europaeus* 10/+, *Padus avium* b 8/+, *P. avium* c 1/+, *Sphagnum squarrosum* 7/+, *Thelypteris palustris* 7/+												
Cl. Querco-Fagetea												
Eurhynchium angustirete	+.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.
Aegopodium podagraria	+	+	+	+	+	+	.	.	+	.	+	.
Galeobdolon luteum	+	.	1	+	+	+	+	+	.	+	.	.
Dryopteris filix-mas	.	1	+	.	.	.	+	.	+	.	+	.
Galium odoratum	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.
Atrichum undulatum	.	.	.	+	+	.	.	.	+	.	.	+
Sporadyczne: *Abies alba* b 6/+, *Corylus avellana* c 6/+, *Milium effusum* 10/+, *Paris quadrifolia* 9/+												

[6] Autorzy dziękują mgr Annie Majewskiej i mgr Pawłowi Dzirbie z Zakładu Ekologii za pomoc w opracowaniu materiałów tabelarycznych i komputerowej obróbce fotografii.

Tabela 4.8.2

Wybrane cechy fizykochemiczne wód źródlanych w strefie przełomu rzeki Sopot
Selected physico-chemical properties of spring waters in break section of the Sopot river

Nr źródła	Temperatura wody (°C)	pH	Przewodność właściwa ($\mu S \cdot cm^{-1}$) 10°C	Mineralizacja całkowita M ($mg \cdot dm^3$)	Twardość ogólna ($mval \cdot dm^3$)	Położenie morfologiczne źródła	Piętro wodonośne
1	7,9	6,21	77	89	0,59	podzboczowe	P
2	8,3	6,84	96	111	0,76	podzboczowe	P
3	8,0	6,54	79	91	0,17	podzboczowe	P
4	8,2	6,54	81	93	0,68	podzboczowe	P
5	8,7	7,14	179	212	5,14	podzboczowe	M
6	9,5	7,64	216	251	2,00	zboczowe	M/P
7	9,2	6,22	118	135	1,20	podzboczowe	P
8	7,7	7,47	198	240	2,64	dolinne	M/P
9	8,8	6,95	190	224	2,20	podzboczowe	M/P
10	8,3	7,28	173	206	2,10	dolinne	M/P
11	7,4	6,91	187	228	5,74	zboczowe	M/P
12	7,5	7,38	256	318	10,40	podzboczowe	M/P

Piętra wodonośne zasilające źródła: M – mioceńskie, P – plejstoceńskie
Water-bearing levels feeding springs: M – Miocene, P – Pleistocene

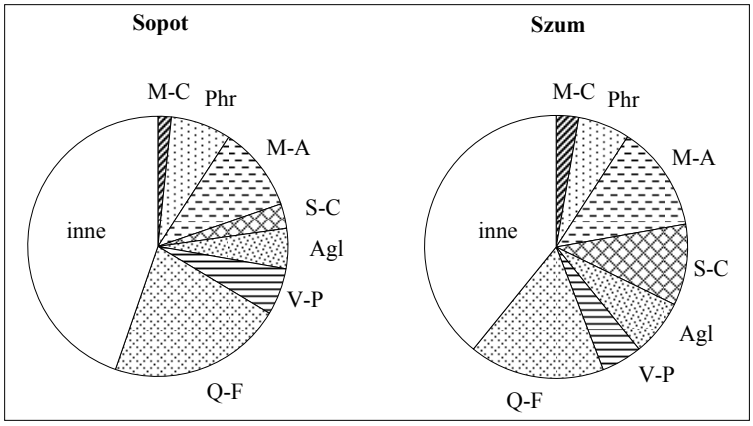
Obecność zimozielonej roślinności na przeważającym odcinku długości rzeki, wiąże się nie tylko z obfitym zasilaniem źródlanym, ale również z lesistym charakterem doliny, niewielką długością cieku (ok. 4,8 km), dużą prędkością wody (ok. 0,5 $m \cdot s^{-1}$) i krótkim czasem jej przepływu od źródeł do ujścia (poniżej 3 godzin). W dolinach pozostałych rzek, kilkakrotnie dłuższych od Jelenia, o brzegach wylesionych na znacznych odcinkach, woda łatwiej ulega wychłodzeniu i zamarzaniu w okresie zimy. Roślinność zimozielona rozwija się tam szczątkowo, a potocznik wąskolistny można spotkać w strefie źródlisk i w strumykach odprowadzających wody z najbardziej wydajnych źródeł.

Roślinność zimozielona w nurcie rzeki Jeleń
Evergreen vegetation in a current of the Jeleń river

Nr zdjęcia	1	2	3	4	5
Pokr. warstwy C w%	90	80	90	90	70
Liczba gat. w zdjęciu	6	13	12	14	9
Cl. Montio-Cardaminetea					
Cardamine amara	.	.	+	+	1
Cl. Phragmitetea					
Berula erecta	3	4	4	3	6
Glyceria plicata	.	2	1	3	+
Veronica beccabunga	.	1	.	1	1
Scrophularia umbrosa	.	.	2	5	+
Sporadyczne: *Galium palustre* 2/+					
Cl. Molinio- *-Arrhenatheretea*					
Scirpus sylvaticus	7	1	.	+	.
Myosotis palustris	.	3	1	+	2
Equisetum palustre	.	.	+	+	+
Sporadyczne: *Lysimachia vulgaris* 4/+, *Lythrum salicaria* 4/+					
Cl. Alnetea glutinosae					
Solanum dulcamara	+	+	+	.	.
Lycopus europaeus	.	+	.	1	.
Cl. Querco-Fagetea					
Impatiens noli-tangere	+	+	+	.	.
Towarzyszące					
Mentha aquatica	3	3	5	.	.
Urtica dioica	+	+	+	.	.
Rumex aquaticus	.	+	+	+	.
Epilobium palustre	.	.	+	1	+
Polygonum hydropiper	.	.	.	+	+
Sporadyczne: *Bidens tripartita* 2/+					

Wody źródlane a roślinność leśna

Charakterystycznym rysem przełomów rzecznych jest obecność źródliskowych postaci łęgu jesionowo-olszowego *Fraxino-Alnetum* oraz olsu porzeczkowego *Ribeso nigri-Alnetum* (fot. 4.8.11–4.8.14). Największą powierzchnię zajmują one w dolinach Sopotu i Szumu. Należą do najbogatszych pod względem gatunkowym typów lasów, zarówno gdy idzie o florę naczyniową, jak i mszystą, w tym gatunków mszaków spotykanych zwykle w niszach źródliskowych. Ogółem w 16 prezentowanych zdjęciach fitosocjologicznych z doliny Sopotu odnotowano 172 gatunki roślin (135 naczyniowych i 37 mszaków). Bogactwo flory w dolinie Szumu jest nieco mniejsze i proporcjonale do powierzchni zajmowanej przez te zbiorowiska oraz do liczby wykonanych zdjęć (5). Składa się na nie 110 taksonów roślin naczyniowych i 30 mszaków; razem 140 gatunków. Wśród nich, dość licznie reprezentowane są gatunki chronione – łącznie 24 w obu dolinach (tab. 4.8.4). Ze względu na duży udział źródeł w zasilaniu siedlisk obu typów lasów, istnieje pomiędzy nimi szereg podobieństw florystycznych i ekologicznych. Dlatego też potraktowano je łącznie (tab. 4.8.4, 4.8.5, ryc. 4.8.2).



Ryc. 4.8.2. Zróżnicowanie ekologiczne roślinności olsów i łęgów źródliskowych w dolinach Sopotu i Szumu: M-C – roślinność źródliskowa kl. *Montio-Cardaminetea*, Phr – roślinność bagienna kl. *Phragmitetea*, M-A – roślinność łąkowa kl. *Molinio-Arrhenatheretea*, S-C – roślinność torfowisk mszysto-turzycowych i mszarów kl. *Scheuchzerio-Caricetea nigrae*, Agl – roślinność olsowa kl. *Alnetea glutinosae*, V-P – roślinność borowa kl. *Vaccinio-Piceetea*, Q-F – roślinność grądowa kl. *Querco-Fagetea*

Fig. 4.8.2. Ecological differentiation of spring forms of bog-alder and riparian forests in the Sopot and Szum river valleys

Trzon roślinności źródliskowych łęgów i olsów stanowią gatunki grądowe klasy *Querco-Fagetea* (odpowiednio 21,5% i 16,4%) i łąkowe klasy *Molinio-Arrhenatheretea* (10,5% i 12,9%); udział każdej z pozostałych grup ekologicznych nie przekracza w obu dolinach 10%. Wody płynące źródeł oraz wycieków i wysięków, zasilające gleby torfowisk niskich (tab. 4.8.5), są bogatsze w składni-

ki zasadowe, alkalizują zatem siedliska bagienne, co stwarza możliwość rozwoju roślin o nieco większych wymaganiach.

Również w dolinie Jelenia, w strefie progów, stwierdzono płat *Ribeso nigri-Alnetum* (fot. 4.8.13), położony na zawieszonym ok. 1,5 m ponad poziom lustra wody w rzece torfowisku węglanowym o dużej zawartości CaO w całym profilu (3,7–4,5 g na 100 g masy torfu). W warstwie zielnej tego zbiorowiska, poza psianką słodkogórz *Solanum dulcamara*, brak jest innych gatunków klasy *Alnetea glutinosae*, a dominują gatunki grądowe (szczyr trwały *Mercurialis perennis* i niecierpek pospolity *Impatiens noli-tangere*) oraz trzcina pospolita *Phragmites communis*, ostrożeń warzywny *Cirsium oleraceum* i inne wysokie byliny. Warstwę mszystą tworzą mchy brunatne, a torfowce są bardzo skąpo reprezentowane przez *Spagnum squarrorum*. Podobny skład florystyczny mają zbiorowiska olsu w dolinie Potoku Łosinieckiego, zasilane wodami wydajnych źródeł podstokowych. Wyróżniają się jednak dużo większym udziałem porzeczki czarnej *Ribes nigrum* o pokryciu do 40% (fot. 4.8.14).

Tabela 4.8.5

Wybrane właściwości fizykochemiczne wód źródlanych zasilających siedliska olsów i łęgów w przełomach rzecznych Roztocza Tomaszowskiego

Selected physico-chemical properties of spring waters feeding habitats of bog-alder and riparian forests in river breaks of the Roztocze Tomaszowskie region

Dolina	Zbiorowisko	Typ/podtyp gleby	pH	Twardość ($mval \cdot dm^{-3}$)			Jony ($mg \cdot dm^{-3}$)					Mineralizacja całkowita M ($mg \cdot dm^3$)	Piętrowodonośne
				Ogólna	Węglanowa	Niewęglanowa	Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}		
Sopot	Rn-A	torfowa/t. niskie zawieszone	6,75	2,62	2,00	0,62	49,0	2,1	122	12,8	23,5	218	M
	F-A	torfowa/t. niskie zawieszone	6,15	1,30	0,70	0,60	22,0	2,4	43	10,6	24,0	111	P
		mada rzeczna właściwa	6,16	0,54	0,25	0,29	6,4	2,8	15	4,6	9,0	63	P
Szum	F-A	mułowo-glejowa	7,35	3.05	2.90	0,15	56,1	3,5	177	10,3	8,7	249	M/P
Jeleń	Rn-A	torfowa/t. niskie zawiesz.	7,60	2,98	1,66	1,32	54,3	3,3	101	29,4	23,5	213	Cr/P
Potok Łosiniecki	Rn-A	torfowa/t. niskie dolinne	7,23	4,63	4,25	0,38	68,3	2,7	259	6,7	10,1	369	Cr

Zbiorowiska: Rn-A – *Ribeso nigri-Alnetum*, F-A – *Fraxino-Alnetum*
Piętra wodonośne zasilające źródła: Cr – kredowe, M – mioceńskie, P – plejstoceńskie
Communities: Rn-A – *Ribeso nigri-Alnetum*, F-A – *Fraxino-Alnetum*
Water-bearing levels feeding springs: Cr – Cretaceous, M – Miocene, P – Pleistocene

Dyskusja

Roślinność związana ze źródliskami nie stanowi jednorodnej grupy ekologicznej, a reprezentowana jest przez zbiorowiska leśne i nieleśne – ziołoroślowe, szuwarowe i mszyste; te ostatnie kategorie na obszarach zalesionych wyodrębniają się w postaci niewielkich enklaw, które można, za Matuszkiewiczem (1978), określić mianem fitokompleksów krajobrazowych. Najważniejsze czynniki fizykochemiczne wód, kształtujące jakość siedlisk, to temperatura, odczyn i zawartość podstawowych biogenów; te z kolei zależą od piętra wodonośnego zasilającego wypływy. W przełomach rzecznych Roztocza Tomaszowskiego obecne są wody trzech pięter wodonośnych: kredowego, mioceńskiego i plejstoceńskiego; największe, zróżnicowanie mineralizacji wód podziemnych odnotowano w dolinie Szumu (Czarnecka, Janiec 1999a, 2002).

W bezpośrednim sąsiedztwie niewielkich wypływów punktowych najczęściej spotykane jest zbiorowisko *Cardamine amara-Chrysosplenium alternifolium*, które znalazło się na liście siedlisk podlegających ochronie (Rozporządzenie... 2001). Podobnie jak w innych regionach Polski, wykazuje ono dosyć szeroką amplitudę ekologiczną. Znane ze źródlisk Polski północno-zachodniej i środkowej fitocenozy zespołu *Cardamino-Beruletum erecti* (m.in. Brzeg 1990; Kucharski, Filipiak 1999; Osadowski, Fudali 2001; Janiak 2004), na badanym obszarze szczególnie obficie rozwijają się w wartkim nurcie górnego i środkowego Jelenia. Osobliwością doliny Sopotu jest z kolei występowanie rozległych płatów ziołorośli zbliżonych do wysokogórskiego zespołu *Petasitetum albi* (Matuszkiewicz 2005). W dużych strefach źródliskowych roślinność wykształca się najczęściej w postaci synuzjów, tzn. jednorodnych ugrupowań roślin jednego lub kilku gatunków o zbliżonej formie życia i wymaganiach siedliskowych (Rabotnow 1985). Bardzo często można obserwować swoistą warstwowość i sezonowość synuzjów: w warstwie niższej występują ugrupowania roślin o zimozielonych pędach – *Glyceria plicata*, *Cardamine amara*, *Berula erecta* oraz mszaków, w górnej zaś, sięgającej niekiedy do 2–2,5 m i dominującej w sezonie wegetacyjnym – płaty okazałych bylin, jak *Epilobium hirsutum*, *E. roseum*, *Mentha longifolia*, *Eupatorium cannabinum*, *Cirsium oleraceum* i inne.

Zasilanie źródlane ma duży wpływ na właściwości siedlisk oraz skład i fizjonomię źródliskowych postaci łęgu jesionowo-olszowego *Fraxino-Alnetum* oraz olsu porzeczkowego *Ribeso nigri-Alnetum*. Podobieństwa florystyczne i fitosocjologiczne tych dwóch typów lasów spowodowane są okresowym mieszaniem się wód zastoiskowych z powodziowymi oraz wzbogacaniem wód stagnujących przez wody źródeł, wycieków i wysięków, szczególnie w strefie podstokowej dolin. Skutkuje to zmniejszeniem udziału roślin bagiennych przy zwiększonym udziale elementów grądowych w olsach i odwrotnie – zwiększeniem udziału ro-

ślin bagiennych, najczęściej *Carex elongata*, *Solanum dulcamara* i *Ribes nigrum*, w łęgach (Czarnecka i in. 2001; Czarnecka 2005). Ostatni z wymienionych gatunków – porzeczka czarna, uznawana za gatunek charakterystyczny olsu (Solińska-Górnicka 1987) – wręcz preferuje mikrosiedliska zasilane wodami płynącymi źródeł i wycieków, na co zwracano już uwagę wcześniej (Czarnecka, Janiec 2002).

Ols porzeczkowy zasiedla podłoże organiczne gleb torfowych torfowisk niskich dolinnych i zawieszonych o zróżnicowanej miąższości torfów – od 30 cm do 270 cm (niekiedy łącznie z przewarstwieniami mineralnymi). Łęg jesionowo-olszowy wykazuje natomiast szeroką amplitudę ekologiczną względem warunków glebowych: od gleb aluwialnych, poprzez semihydrogeniczne, po zabagniane. Z tymi ostatnimi jest związany szczególnie w rozległej dolinie Sopotu, gdzie porasta gleby torfowe torfowisk niskich wykształcone w bocznych lewobrzeżnych dolinkach, poprzecinanych wypływami ze źródeł zawieszonych nawet 4–6 m ponad lustro wody w rzece. Niewielkie cieki pełnią w tym przypadku rolę drenującą. Im bliżej wylotu tych dolin, tym miąższość torfów i ich uwodnienie są większe, a zbiorowiska przybierają charakter bagiennych lasów olszowych. Wobec znacznego podobieństwa obu typów lasów – pod względem fizjonomicznym, florystycznym i fitosocjologicznym – delimitacja ich granic możliwa jest po dokładnym rozpoznaniu hydrogeochemicznym, tj. określeniu zasięgu oddziaływania źródeł, wycieków, wysięków i młak oraz charakteru wód (Czarnecka, Janiec 1999b; Czarnecka, Janiec 2001b, 2002).

Na szczególną uwagę wśród fitocenoz olsu porzeczkowego zasługuje płat tego zespołu w dolinie Jelenia położony na zawieszonym złożu torfu (Czarnecka, Janiec 1999b). Pod względem kryteriów morfologicznych, geologicznych i chemicznych reprezentuje on typ torfowisk źródliskowych, eutroficzno-wapiennych (Succow 1988) i poligenicznych oraz wyciekowych otwartych (Dembek 1993).

Summary

The effect of spring waters on the differentiation of vegetation in river breaks of the Roztocze Tomaszowskie escarpment zone

The study aimed to present the differentiation of vegetation under the influence of spring waters occurring in the break sections of right-side tributaries of the Tanew river. The spring number, measured with their fall on 1 km of the river course, is the following: the Łosiniecki Stream – 2,7, the Jeleń – 10,5, the Sopot – 21, the Szum – 8,1 and the Niepryszka – 2,3 springs/km. Springs are accompanied by specific set of species of vascular plants, mosses and liverworts. Small spring niches are usually overgrown with patches of communities of *Cardamine amara-Chrysosplenium alternifolium*, *Glycerietum plicatae* and *Cardamino (amarae)-Beruletum erecti*. In large niches of vauclusian springs of the Jeleń river in Susiec-Skwarki and the Łosiniecki Stream in Rybnica Leśna there also occur tall macroforb phytocenoses of the association *Calystegio-Epilobietum hirsuti* dominated by synusia of such species as *Epilobium hirsutum*, *E. roseum*, *Mentha longi-*

folia, *Cirsium oleraceum*, *Eupatorium cannabinum* and others. In the largest valley of the Sopot river one can find patches of mountain-like community *Petasitetum albi*. The river-bed of the shortest stream, Jeleń, is overgrown on the majority of its course by so-called evergreen vegetation representing different variants of the association *Cardamino-Beruletum erecti*. That is caused by forest character of the valley, high water speed and short time of its flowing from springs to the mouth. Among forest communities in the studied river breaks, particularly in the Sopot and Szum valleys, spring forms of streamline ash-alder forests *Fraxino-Alnetum* and bog-alder forests *Ribeso nigri-Alnetum* are common. Because of big supplying with spring waters, both types of communities exhibit many similarities in terms of their floristic and phytosociological composition, and ecology.

Joanna Żelazna-Wieczorek
Katedra Algologii i Mikologii, Uniwersytet Łódzki
90-237 Łódź, ul. Banacha 12/16, joannazelaznawieczorek@yahoo.co.uk

Maciej Ziułkiewicz
Pracownia Ochrony Jakości Wód, Uniwersytet Łódzki
90-139 Łódź, ul. Narutowicza 88, macziul@geo.uni.lodz.pl

4.9. Okrzemki bentosowe źródła Dobieszków na tle warunków siedliskowych[7]

Wprowadzenie

Źródła stanowią jeden z najcenniejszych typów obiektów przyrodniczych i krajobrazowych. Na stosunkowo niewielkim obszarze, w obrębie niszy, przenikają się elementy przyrody ożywionej i nieożywionej, wzajemnie na siebie oddziaływując. Znamienne jest to, że interakcje te mają charakter stały, gdyż warunki termiczne wód podziemnych alimentujących źródło zwykle uniemożliwiają jego zamarzanie zimą.

Źródło jest więc dogodnym miejscem obserwacji i identyfikacji czynników ekologicznych, nie mającym odniesienia do innych typów obiektów hydrograficznych, z tej między innymi przyczyny, że nigdzie indziej ekologiczna rola wód podziemnych nie jest tak duża.

Główną rolę w określeniu wpływu warunków abiotycznych i ich zmian na kształtowanie się zbiorowisk okrzemek występujących w źródłach mają gatunki dominujące, a także gatunki wskaźnikowe (często należące do gatunków akcesorycznych), stenotopowe o wąskim zakresie tolerancji wobec czynników siedliskowych. Najliczniejszą grupę glonów w zbiorowiskach egzystujących w źródłach stanowią okrzemki (*Bacillariophyceae*). Są one uważane za jedne z najlepszych organizmów wskaźnikowych, szybko sygnalizujących zmiany zachodzące w zajmowanych siedliskach.

Badania okrzemek źródeł, prowadzone w ostatnich latach w Polsce, mają głównie na celu poznanie różnorodności gatunkowej tych siedlisk oraz ich autekologię (Rakowska 1996, 1997; Waszkiewicz 1999; Paczuska 1999; Paczuska,

[7] Zrealizowano w ramach projektu KBN: 3P04G05723

Paczuski 1999; Żelazna-Wieczorek, Mamińska 2006). Okrzemki próbuje się również wykorzystywać w ocenie jakości wód źródlanych (Wojtal 2006; Ziułkiewicz, Żelazna-Wieczorek w druku).

Okrzemki (Bacillariophyceae) w źródłach wykazują powiązanie ze zmiennością warunków fizycznych i chemicznych wody. Jednak taksony okrzemek występujące w źródłach nie są ograniczone wyłącznie do tego typu siedliska (Cantonati, Gerecke, Bertuzzi 2006).

Celem prezentowanych badań jest identyfikacja wpływu abiotycznych warunków funkcjonowania źródeł na florę okrzemek, które w nich występują oraz monitoring zbiorowisk okrzemek dla określenia ich dynamiki.

Ważnymi czynnikami ekologicznymi warunkującymi obecność glonów w źródle są cechy fizykochemiczne wód, które z niego wypływają (Kawecka, Eloranta 1994). Według Macioszczyk i in. (1991) najlepiej odzwierciedlają one całokształt procesów hydrogeochemicznych zachodzących w jego zlewni podziemnej. Stwarza to możliwość identyfikacji czynników ekologicznych o większym zasięgu przestrzennym, niż w obrębie samej niszy źródliskowej.

Metody

Dla osiągnięcia założonego celu badawczego podjęto badania polegające na równocześnie realizowanych pracach algologicznych i hydrochemicznych. Zgodnie z zaleceniami PIOŚ (Witczak, Adamczyk 1995), w terenie prowadzono pomiary temperatury wody źródlanej, jej przewodności elektrolitycznej właściwej, odczynu, potencjału oksydacyjno-redukcyjnego i zawartości tlenu rozpuszczonego. Wykorzystano w tym celu terenowe urządzenia pomiarowe firmy Elmetron (CP-315M, CO-315, CC-401 i CX-742). Pomiarów dokonywano jeden raz w miesiącu.

Próbki wody do analiz chemicznych pobierano jeden raz w kwartale, dobierając termin do fenologii fitobentosu (zima, wiosna, lato, jesień). Oznaczenia analityczne próbek wód źródlanych wykonywano w laboratorium Pracowni Ochrony Jakości Wód Katedry Geologii UŁ (w zakresie 14 elementów hydrochemicznych) oraz w Centralnym Laboratorium Chemicznym Państwowego Instytutu Geologicznego w Warszawie (główne kationy i żelazo rozpuszczone).

Próbkę wody źródlanej pobierano z niszy, w pobliżu miejsca wypływu wód podziemnych na powierzchnię zgodnie z normą PN-76/C-04620/03. W terenie napełniano dwa polietylenowe pojemniki: 500 ml (zasadowość, wolny dwutlenek węgla) i 2500 ml na pozostałe oznaczenia, które transportowano w lodówkach turystycznych (4°C). W laboratorium Pracowni Ochrony Jakości Wód UŁ, wodę z pojemnika 2500 ml filtrowano przez filtr 0,45 μm i rozlewano do butelek, w których próbki były utrwalane i niezwłocznie kierowane do analiz.

Dla uzyskania pewności, że zastosowane w badaniach hydrochemicznych metody analityczne są poprawne, przeprowadzono kontrolę zgodnie z zaleceniami Witczaka i Adamczyka (1995). Polegała ona na sporządzeniu, dla otrzymanych wyników analiz mikro- i makroskładników wód, bilansów jonowych oraz na porównaniu pomierzonej przewodności elektrolitycznej właściwej z przewodnością obliczoną na podstawie składu jonowego. Wartości uzyskanych błędów analitycznych nie przekraczały granicy określonej przez normę PN-89/C-04638/02.

Dla prawidłowej interpretacji danych hydrochemicznych podjęto obserwacje wydatku misy źródłowej oraz przeprowadzono pomiar pojemności części cembrowiny wypełnionej wodą.

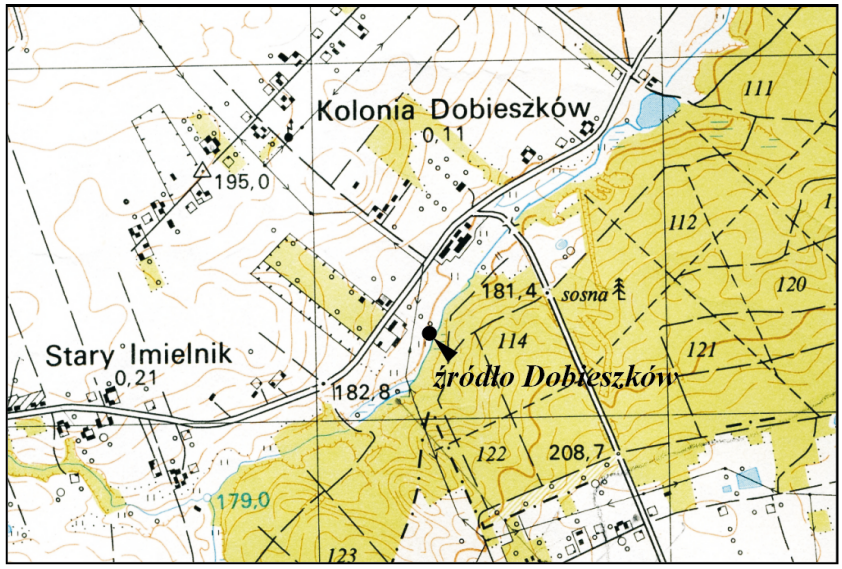
Pobór prób okrzemek bentosowych, epipsammicznych wykonywano raz w miesiącu, od stycznia 2003 do czerwca 2005 (29 prób); pierwsze trzy próby zostały pobrane z betonowej cembrowiny. Zebrany materiał, w celu uwidocznienia struktury ściany komórkowej okrzemek, która jest podstawą w ich taksonomii, poddawano preparatyce chemicznej z wykorzystaniem kwasów: siarkowego i chromowego (Siemińska 1964). Następnie, z materiału zawierającego skorupki okrzemek, po kilkukrotnym przepłukaniu wodą destylowaną, przygotowywano trwałe preparaty przez zatopienie osadu w sztucznej żywicy Naphrax.

Analizę ilościową i jakościową zbiorowisk okrzemek na podstawie preparatów trwałych przeprowadzono w oparciu o:

- identyfikację taksonomiczną okrzemek na podstawie prac: Krammer, Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a,b), Krammer (2000, 2002, 2003), Lange-Bertalot (2001),
- ilościowe zróżnicowanie, wyrażone udziałem procentowym zidentyfikowanych taksonów, na podstawie którego wyróżniono taksony: dominujące – powyżej 5% udziału w próbie, subdominujące – 2–5%, influenty – 1–2%, gatunki akcesoryczne i obce – poniżej 1% (Kawecka, Eloranta 1994);
- określono klasy stałości występowania okrzemek według skali Braun-Blanqueta (Bohr 1962), wyróżniono taksony stałe (występujące w 100–81% prób – V klasa stałości), taksony częste (80–61% prób – IV klasa stałości), taksony średnio częste (60–41% prób – III klasa stałości), taksony niezbyt częste (40–21% prób – II klasa stałości), taksony rzadkie lub sporadyczne (20–1% prób – I klasa stałości);
- obliczono współczynniki podobieństwa Sörensena zbiorowisk okrzemek między wszystkim próbami (Kawecka, Eloranta 1994), który przedstawiono w postaci dendrogramu (Statistica 6.0);
- określono warunki środowiskowe źródła na podstawie danych o autekologii okrzemek, zawartych w bazie Omnidia 4.1, według klasyfikacji Van Dam i in. (1994).

Obiekt badań

Źródło „Dobieszków" położone jest w dolinie Młynówki, lewobrzeżnego dopływu Moszczenicy, we wsi o tej samej nazwie. Dolina Młynówki obfituje w naturalne wypływy wód podziemnych – ryc. 4.9.1. Źródła funkcjonujące wzdłuż jej lewego brzegu, a do nich należy badane źródło, zostały w części obudowane i były w przeszłości lub są nadal wykorzystywane jako źródło wody dla potrzeb bytowo-gospodarczych mieszkańców wsi (fot. 4.9.1) oraz produkcyjnych małego zakładu (Moniewski, Ziułkiewicz 2006). Pozostałe wypływy wykorzystuje się do zasilania małych zbiorników hodowlanych i rekreacyjnych (fot. 4.9.2), natomiast źródła położone po prawej stronie doliny Młynówki, poprzez objęcie ich ochroną rezerwatową, zachowały swoją naturalną formę.



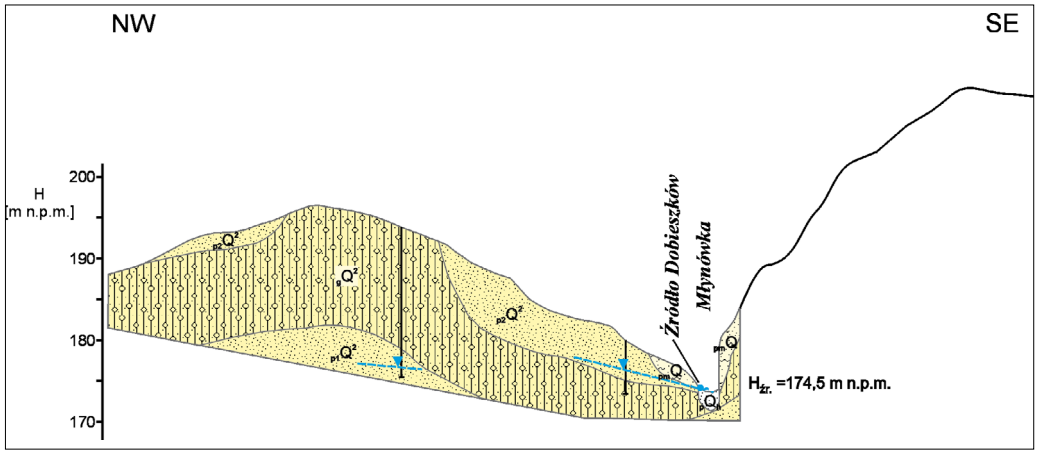
Ryc. 4.9.1. Położenie źródła „Dobieszków" według arkusza mapy topograficznej 112.4 Stryków Pd. w skali 1:25 000
Fig. 4.9.1. Position of the „Dobieszków" spring according to the topographic map in the scale 1:25 000, sheet 112.4 Stryków Pd.

Źródło „Dobieszków" jest wypływem o podłożu piaszczystym, ocembrowanym, dzięki czemu, przy niewielkiej wydajności, czas zatrzymania wody w takiej sztucznej misie jest bardzo długi i wynosi około 5,5 godziny Wartość ta jest wielokrotnie większa od typowych dla nisz źródliskowych, np. w stosunku do pobliskiego „Pięknego Źródła" – 36-krotnie.

Badane źródło jest wypływem przykorytowym, ascensyjnym. Analiza kartograficznych opracowań geologicznych (Brzeziński 1992; Szczerbicka, Meszczyński 2002) i przeprowadzone kartowanie hydrogeologiczne wskazują, że jest ono zasilane z utworów wodnolodowcowych zlodowacenia warty, które tworzą

mało rozległy zbiornik wód gruntowych – ryc. 4.9.2. Ascensja wód w miejscu wypływu jest spowodowana przez nadległą, napinającą swobodne zwierciadło, pokrywę podstokowych utworów deluwialnych.

Źródło Dobieszków położone jest na wysokości 174,5 m n.p.m., czyli w przedziale 170–189 m n.p.m., w którym występuje najwięcej naturalnych wypływów wód podziemnych w środkowej Polsce (Maksymiuk, Mela 1995). Obiekt znajduje się równocześnie na obszarze szczególnie licznego występowania źródeł w regionie łódzkim – krawędzi Wzniesień Łódzkich. Opada ona ku pradolinie warszawsko-berlińskiej szeregiem stopni morfologicznych, u podnóża których licznie występują naturalne wypływy wód podziemnych. Badane źródło funkcjonuje u podnóża poziomu smardzewskiego.



Ryc. 4.9.2. Przekrój hydrogeologiczny obszaru alimentacji źródła Dobieszków; objaśnienia symboli: $_{p1}Q^2$ – piaski wodnolodowcowe dolne zlodowacenia warty, $_{p1}Q^2$ – gliny zwałowe zlodowacenia warty, $_{p2}Q^2$ – piaski wodnolodowcowe górne zlodowacenia warty, $_{pm}Q$ – piaski mułkowate, $_{p1}Q_h$ – piaski rzeczne holoceńskie

Fig. 4.9.2. Hydrogeological cross-section of the Dobieszków spring alimentation area; explanations: $_{p1}Q^2$ – lower fluvioglacial sands of the Warta glaciation, $_{p1}Q^2$ – boulder clay of the Warta glaciation, $_{p1}Q^2$ – upper fluvioglacial sands of the Warta glaciation, $_{pm}Q$ – muddy sands, $_{p1}Q_h$ – fluvial sands of Holocene

Warunki hydrochemiczne

Źródło „Dobieszków" cechuje się niewielką wydajnością rzędu 0,032 $dm^3 \cdot s^{-1}$, co stawia je w grupie obiektów VII klasy wydajności według Meinzera (Pazdo, Kozerski 1990). Wypływ należy do obiektów o małej zmienności wydatku; wyliczony wskaźnik zmienności wieloletniej Maillete'a wyniósł 5,75. Obserwacje terenowe wskazują, że zmienność wydatku źródła zwiększał nieregularny pobór wody z niszy przez mieszkańców pobliskiego gospodarstwa (fot. 4.9.1).

Trzydziestomiesięczny cykl obserwacji wydajności wypływu pozwolił określić charakterystyki zasobności badanego źródła – tabela 4.9.1.

Tabela 4.9.1

Miary zasobności zbiorowiska wód podziemnych zasilającego źródło „Dobieszków”

Groundwater resource characteristics of the „Dobieszków” spring

Współczynnik recesji wydatku źródła α	Zasobność wodna wodonośca W [$m^3 \cdot 10^5$]	Współczynnik odnawialności η
0,0057	0,005	2,10

Tabela 4.9.2

Charakterystyka statystyczna parametrów hydrochemicznych źródła „Dobieszków” (n=10)

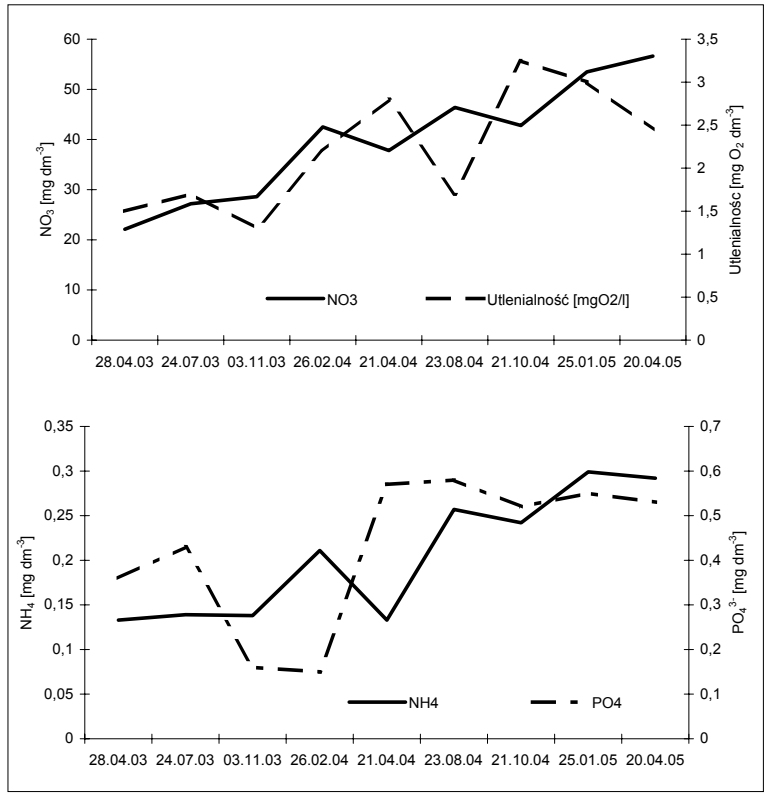
Statistical characteristic of hydrochemical elements of the „Dobieszków” spring waters (n=10)

Parametr	Min.	Maks.	Średnia	Współczynnik zmienności [%]
Sucha pozostałość [$mg \cdot dm^{-3}$]	295,00	448,00	367,30	13,34
Utlenialność [mg $O_2 \cdot dm^{-3}$]	1,25	3,25	2,11	36,74
Twardość ogólna [$mval \cdot dm^{-3}$]	2,72	4,56	3,78	18,86
Barwa [mg $Pt \cdot dm^{-3}$]	2,00	4,00	3,00	22,22
Temperatura [°C]	5,60	9,70	8,21	14,92
SEC [$\mu S \cdot cm^{-1}$]	0,35	0,43	0,39	5,19
Odczyn [pH]	6,46	7,47	7,04	4,53
Redoks [mV]	131,00	281,00	209,56	27,70
Nasycenie tlenem [%]	40,50	65,80	50,78	15,03
Tlen [$mg \cdot dm^{-3}$]	4,53	7,72	5,98	18,19
Ca^{2+}[$mg \cdot dm^{-3}$]	63,10	72,00	67,44	4,30
Mg^{2+} [$mg \cdot dm^{-3}$]	7,20	7,90	7,47	3,03
Na^{+} [$mg \cdot dm^{-3}$]	6,00	6,90	6,38	4,42
K^{+} [$mg \cdot dm^{-3}$]	1,300	1,40	1,37	3,53
NH_4^{+} [$mg \cdot dm^{-3}$]	0,13	0,20	0,20	35,45
Fe^{2+} [$mg \cdot dm^{-3}$]	0,01	0,02	0,01	53,45
Zn^{2+} [$mg \cdot dm^{-3}$]	0,01	0,011	0,01	19,24
Cl^{-} [$mg \cdot dm^{-3}$]	14,70	16,60	15,86	4,26
HCO_3^{-} [$mg \cdot dm^{-3}$]	100,60	176,30	136,89	14,15
SO_4^{2-}[$mg \cdot dm^{-3}$]	41,60	72,60	58,90	17,11
NO_3^{-} [$mg \cdot dm^{-3}$]	22,10	56,62	38,14	32,19
NO_2^{-} [$mg \cdot dm^{-3}$]	0,00	0,02	0,01	89,31
PO_4^{3-} [$mg \cdot dm^{-3}$]	0,15	0,58	0,42	38,79
SiO_2 [$mg \cdot dm^{-3}$]	13,70	23,00	15,83	16,76

Uzyskane wartości wskazują, że na tle innych źródeł Wzniesień Łódzkich (Ziułkiewicz 2005), źródło „Dobieszków" stosunkowo szybko sczerpuje niewielkie zasoby wodonośca. W ciągu roku zasoby te są wymieniane dwukrotnie.

Podstawowe parametry statystyczne oznaczonych elementów hydrochemicznych wód źródła „Dobieszków" prezentuje tabela 4.9.2. Zebrany materiał hydrochemiczny wskazuje, że w źródle „Dobieszków" wypływają wody słodkie. Maksima mineralizacji pojawiają się w lipcu i sierpniu (440–448 mg·dm^{-3}), zaś minima między lutym i kwietniem (295–325 mg·dm^{-3}). Są to wody średnio twarde, przy czym relacja twardości węglanowej do niewęglanowej ma się, jak 1,5:1. Odczyn wód jest obojętny, choć źródło wykazuje w tym względzie zmienność: od słabokwaśnego do słaboalkalicznego. Według klasyfikacji Szczukariewa-Prikłońskiego (Pazdro, Kozerski 1990), są to wody typu wodorowęglanowo-siarczanowo-wapniowego.

Na uwagę zasługuje to, że większość parametrów hydrochemicznych cechuje się niewielką zmiennością. Równocześnie, parametry o większej zmienności są uznanymi wskaźnikami zanieczyszczenia wód podziemnych i, co ważne, w całym okresie badań wykazywały stałą tendencję wzrostu stężeń (ryc. 4.9.3).



Ryc. 4.9.3. Zmiany stężeń jonów pierwiastków biogenicznych i utlenialności w wodach źródła „Dobieszków"
Fig. 4.9.3. Changes of biogenic ions concentrations and oxidability in the „Dobieszków" spring waters

Na podstawie oznaczonych parametrów fizykochemicznych i składu jonowego wody źródlanej, dokonano też oceny jej stanu względem minerałów krzemionkowych. W tym celu, przy wykorzystaniu programu WATEQ4F (Hounslow 1995), wyliczono wartości wskaźników nasycenia SI (tab. 4.9.3). Jako zakres równowagi przyjęto wartości SI mieszczące się w przedziale ±5% log ze stałej równowagi K (Małecki 1998).

Tabela 4.9.3

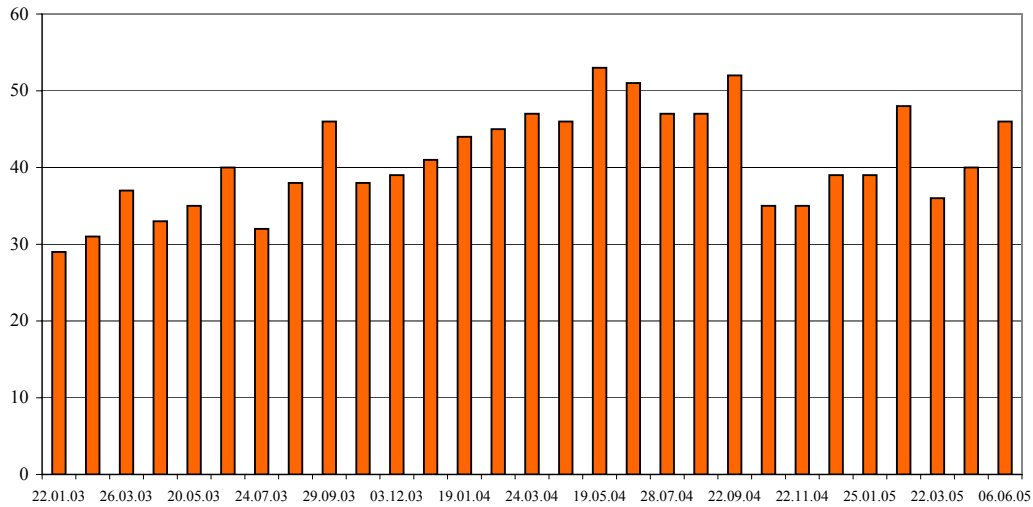
Wskaźniki nasycenia wód (SI) źródła „Dobieszków" względem minerałów krzemionkowych
„Dobieszków" spring water Saturation Indexes calculated for silica minerals

Minerał	5% log	min.	maks.
Kwarc	0,21	0,61	0,76
Chalcedon	0,18	0,07	0,21
SiO_2 (a)	0,16	-0,45	-0,31

Otrzymane wartości SI świadczą, że w badanych wodach źródlanych może się wytrącać kwarc. Względem skrytokrystalicznej postaci krzemionki woda osiągnęła stan równowagi, natomiast zachowała możliwość rozpuszczania form bezpostaciowych.

Flora okrzemkowa

W źródle „Dobieszków" zidentyfikowano 85 taksonów okrzemek; w poszczególnych próbach od 29 taksonów w styczniu 2003 do 53 taksonów w maju 2004 (ryc. 4.9.4).

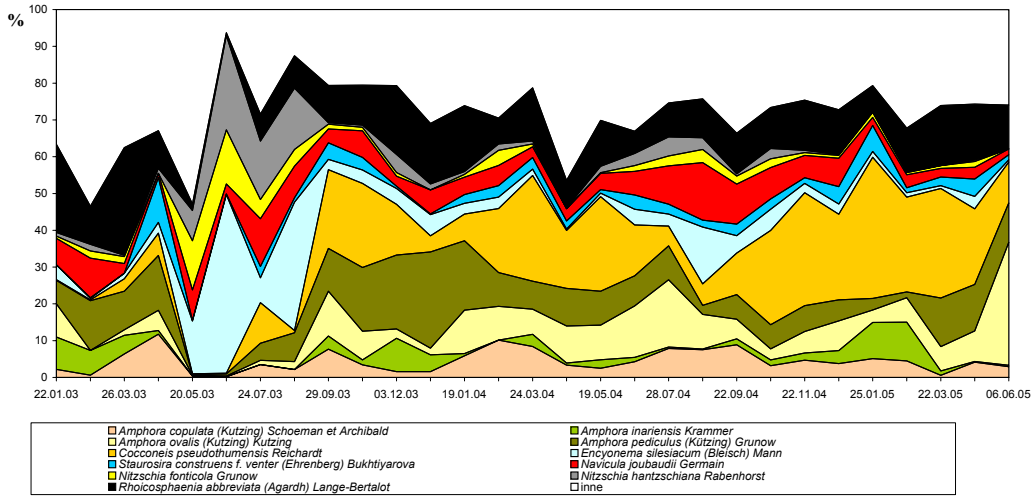


Ryc. 4.9.4. Liczba zidentyfikowanych taksonów okrzemek w poszczególnych próbach w źródle
Fig. 4.9.4. Number of identified diatom taxa in the particular samples of the spring

Określono klasy stałości oznaczonych taksonów okrzemek: do V klasy stałości należy 28 (32,9%) taksonów, do IV klasy stałości 7 (8,3%) taksonów, do III klasy stałości 6 (7,1%) taksonów, do II klasy stałości 16 (18,8%) taksonów, do I klasy stałości 28 (32,9%) taksonów. Taksonami stałymi były: *Achnanthidium minutissimum (*Kütz.) Czarnecki, *Amphora copulata* (Kütz.) Schoeman et Archibald, *Amph. inariensis* Krammer, *Amph. ovalis* (Kütz.) Kütz., *Amph. pediculus* (Kütz.) Grun., *Campylodiscus hibernicus* Ehrenb., *Cocconeis placentula* var. *lineata* (Ehrenb.) Van Heurck, *Cocc. pseudothumensis* Reichardt, *Craticula ambigua* (Ehrenb.) Mann, *Encyonema silesiacum* (Bleisch) Mann, *Hippodonta costulata* (Grun.) Lange-Bert., Metzeltin et Witkowski, *Karayevia clevei* Grun. in Cl. et Grun., *Navicula joubaudii* Germ., *Nav. striolata* (Grun.) Lange-Bert., *Nav. tripunctata* (O.F. Muller) Bory, *Nitzschia dissipata* (Kütz.) Grun., *Nit. fonticola* Grun., *Nit. hantzschiana* Rabenh., *Nit. inconspicua* Grun., *Nit. perminuta* (Grun.) M. Peragallo, *Planothidium frequentissimum* (Lange-Bert.) Lange-Bert., *Psammothidium lauenburgianum* (Hust.) Bukht. et Round, *Rhoicosphaenia abbreviata* (Ag.) Lange-Bert., *Staurоneis gracilis* Ehrenb., *Staurosira construens* f. *venter* (Ehrenb.) Hust., *Staurosira pinnata* Ehrenb., *Staurosirella lapponica* (Grun. in Van Heurck) Will. et Round, *Synedrella parasitica* (W. Sm.) Round et Maidana 2001.

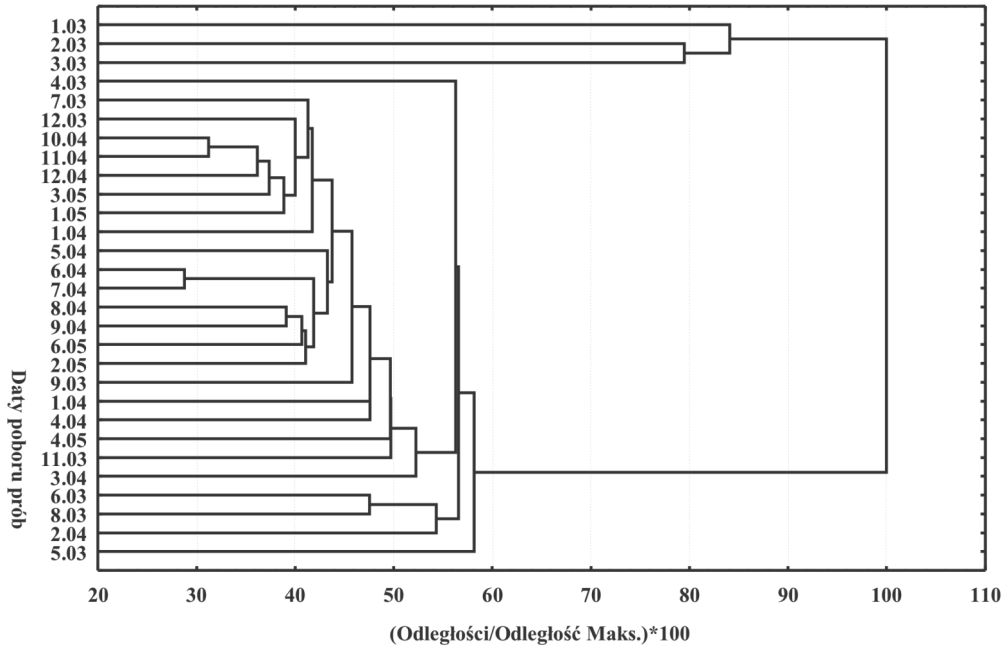
Gatunkami dominującymi w źródle były: *Amphora copulata* (Kütz.) Schoeman et Archibald (średnia dominacja 4,5%), *Amph. inariensis* Krammer (3,3%), *Amph. ovalis* (Kütz.) Kütz. (7,6%), *Amph. pediculus* (Kütz.) Grun. (9,5%), *Cocconeis pseudothumensis* Reichardt (14,5%), *Encyonema silesiacum* (Bleisch) Mann (6,4%), *Navicula joubaudii* Germain (6,0%), *Nitzschia fonticola* Grun. (2,8%), *Nit. hantzschiana* Rabenh. (3,7%), *Rhoicosphaenia abbreviata* (Ag.) Lange-Bert. (11,9%), *Staurosira construens* f. *venter* (Ehrenb.) Bukh. (2,7%). W czasie prowadzenia badań udział taksonów dominujących ulegał wahaniom, szczególnie od maja do sierpnia 2003 roku (ryc. 4.9.5 i 4.9.6).

Okrzemki należące do V klasy stałości, pogrupowano względem ich cech autekologicznych, w celu określenia wymagań wobec warunków panujących w źródle „Dobieszków". Z punktu widzenia odczynu wody, do taksonów obojętnych (pH 7) należało 18,2% taksonów, do alkalifili (pH 7 z optimum >7) – 72,7% taksonów, do alkalibiontów (pH >7) – 9,1% taksonów. W odniesieniu do zasolenia większość, taksonów stałych należy do halofili (<0,9‰) – 96%, natomiast do słodkowodnych (<0,2‰) – 4%. Względem natlenienia, bardzo wysokie wymagania (100% nasycenia tlenem) wykazuje 29,4% taksonów, wysokie (75% nasycenia tlenem) – 52,9%, średnie (50% nasycenia tlenem) – 17,7%. Taksonów oligotroficznych spośród okrzemek należących do V klasy stałości jest 5%, oligo-mezotroficznych – 10%, mezotroficznych – 5%, eu-mezotroficznych – 25%, eutroficznych – 35% zaś oligo-eutroficznych – 20% taksonów.



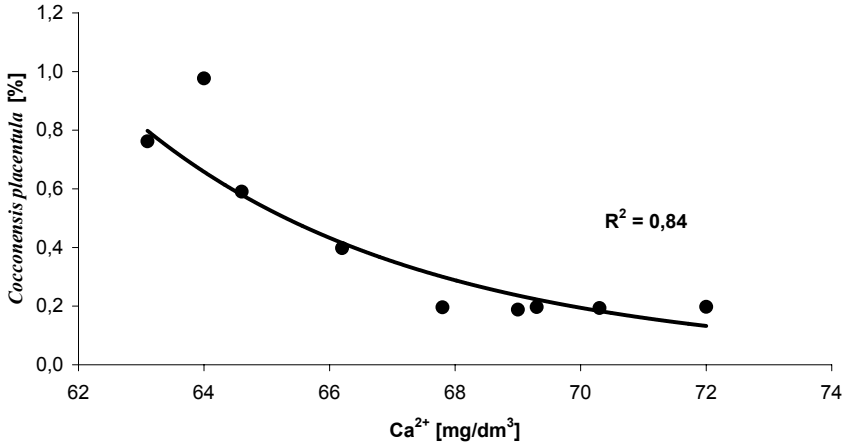
Ryc. 4.9.5. Zmiany udziału procentowego taksonów dominujących okrzemek w czasie prowadzenia badań
Fig. 4.9.5. Percentage changes of diatom dominant taxa in the research period

Podobieństwo zbiorowisk okrzemek w poszczególnych próbach określone na podstawie współczynnika podobieństwa Sorensena jest wysokie (ryc. 4.9.7).



Ryc. 4.9.7. Podobieństwo jakościowe badanych próbek zbiorowisk okrzemek ze źródła „Dobieszków" (kryterium odległości euklidesowej)
Fig. 4.9.7. The quality similarities between particular samples of the Dobieszków spring diatom communities (Euclidean distances were measured using Single Linkage rules)

W celu powiązania warunków hydrochemicznych źródła z florą okrzemkową, która w nim bytuje, wykonano analizę korelacji między taksonami okrzemek należących do V klasy stałości i wszystkimi oznaczonymi parametrami fizykochemicznymi wody (tab. 4.9.4). Udział taksonów *Karayevia clevei, Achnanthidium minutissimum, Amphora copulata, Amph. pediculus, Campylodiscus hibernicus, Cocconeis placentula var. lineata, Cocconeis pseudothumensis, Craticula ambigua, Staurosira pinnata, Nitzschia hantzschiana, Navicula joubaudi* wykazuje związek z częścią parametrów hydrochemicznych. Stężenia jonu wapniowego istotnie koreluje z udziałem czterech taksonów okrzemek, przy czym w trzech przypadkach jest to związek odwrotnie proporcjonalny – ujemny, a w jednym wprost proporcjonalny. Dla *Cocconeis placentula* var. *lineata* wartość współczynnika determinacji (R^2) regresji krzywoliniowej – logarytmicznej wskazuje na duży wpływ jonu wapniowego na rozwój tego taksonu (ryc. 4.9.8).



Ryc. 4.9.8. Wpływ zmian stężenia jonu wapniowego na udział *Cocconeis placentula* var. *lineata* w zbiorowisku okrzemek źródła Dobieszków
Fig. 4.9.8. Influence of calcium ion concentration changes on *Cocconeis placentula* var. *lineata* participation in diatom community of the Dobieszków spring

Pozostałe składniki jonowe i cechy fizykochemiczne wody istotnie korelowały z pojedynczymi taksonami. Powiązania te w większości dotyczyły elementów hydrochemicznych, które wykazywały małą zmienność wartości w okresie badań (tab. 4.9.2). Wyjątkiem, w tym względzie, jest jon azotanowy i utlenialność. Analiza regresji wykazała, że ta ostatnia cecha może determinować rozwój *Karayevia clevei* (ryc. 4.9.9).

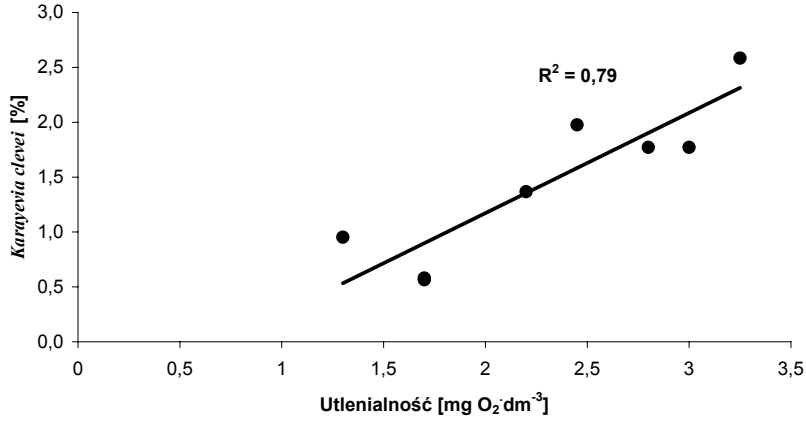
Tabela 4.9.4

Korelacja (α<0,05) między udziałem procentowym okrzemek V klasy stałości i elementami hydrochemicznym i wód źródła Dobieszków (N=10, w przypadku cech fizykochemicznych określanych *in situ* N=29; n – korelacja nieistotna na poziomie 0,05)

Correlation (α<0,05) for percentage participation of the Vth class of diatom stability and physicochemical properties of the Dobieszków spring waters (N=10, in case of physicochemical properties identified *in situ* N=29; n – correlation insignificant on the level 0,05)

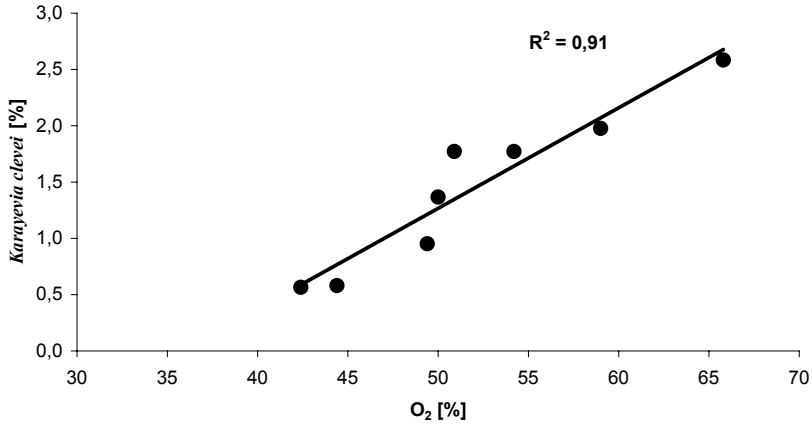
	KCLE	AMIN	ACOP	APED	CHIB	CPLI	COPS	CAMB	SPIN	NHAN	NJOU
Ca^{2+}	0,91	n	n	-0,91	n	-0,98	n	-0,87	n	n	n
Mg^{2+}	n	n	n	n	n	-0,83	n	n	n	n	n
Na^{+}	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
K^{+}	n	-0,96	n	n	n	n	n	n	n	n	n
NH_4^{+}	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
Cl^{-}	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
HCO_3^{-}	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
SO_4^{2-}	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
NO_3^{-}	n	n	n	n	n	n	n	n	n	0,92	n
NO_2^{-}	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
PO_4^{3-}	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
SiO_2	n	n	n	n	n	n	n	n	n	-0,90	n
Mineralizacja	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
Sucha pozost.	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	0,82
Utlenialność	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
TOG	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
Barwa	n	n	n	0,88	n	-0,92	n	n	n	n	n
Temperatura	n	n	n	n	-0,79	n	-0,85	n	n	n	0,93
SEC	n	0,65	n	-0,76	n	n	n	n	n	n	n
pH	n	n	n	n	-0,66	n	n	n	n	n	n
Redox	n	n	n	0,62	n	n	n	n	n	n	n
O_2 [%]	0,95	n	-0,78	n	n	n	n	n	0,87	n	n
O_2 [mg·dm^{-3}]	n	n	-0,74	n	n	n	n	0,82	n	n	n

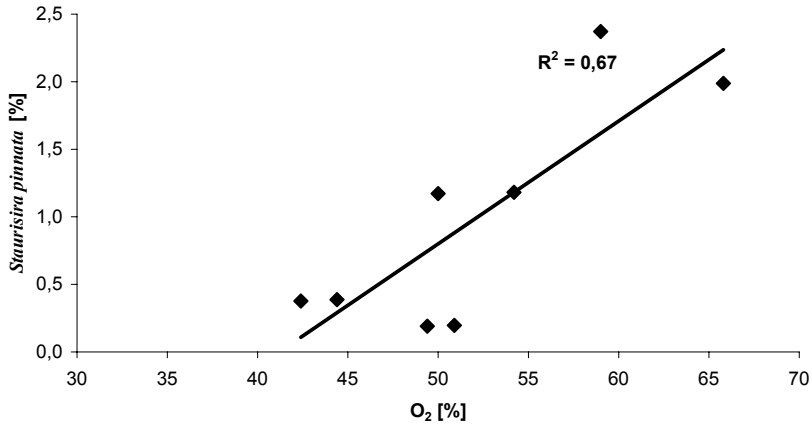
Objaśnienia/abbreviations: KCLE – *Karayevia clevei*, AMIN – *Achnanthidium minutissimum*, ACOP – *Amphora copulata*, APEL - *Amphora pediculus*, CHIB – *Campylodiscus hibernicus*, CPLI – *Cocconeis placentula* var. *lineata*, COPS – *Cocconeis pseudothumensis*, CAMB – *Craticula ambigua*, SPIN – *Staurosira pinnata*, NHAN – *Nitzschia hantzschiana*, NJOU – *Navicula joubaudii*



Ryc. 4.9.9. Wpływ utlenialności wody na udział *Karayevia clevei* w zbiorowisku okrzemek źródła „Dobieszków”

Fig. 4.9.9. Influence of water oxidability on *Karayevia clevei* in diatom community of the „Dobieszków” spring





Ryc. 4.9.10. Wpływ nasycenia wód tlenem na udział *Karayevia clevei* i *Staurosira pinnata* w zbiorowisku okrzemek źródła „Dobieszków”

Fig. 4.9.10. Influence of the saturation of waters with oxygen on *Karayevia clevei* and *Staurosira pinnata* participation in diatom community of the „Dobieszków” spring

W przypadku cech wód rejestrowanych w terenie, z poszczególnymi taksonami okrzemek bentosowych istotnie koreluje nasycenie wód tlenem oraz temperatura wody – trzy przypadki, przewodność elektrolityczna właściwa i tlen rozpuszczony – dwa przypadki oraz odczyn i potencjał redoks po jednym przypadku. Dla przykładu *Karayevia clevei* i *Staurosira pinnata* wykazują silną dodatnią korelację z ilością tlenu rozpuszczonego (ryc. 4.9.10).

Podsumowanie

Źródło „Dobieszków" jest wypływem mało wydajnym, mało zmiennym i zasilanym przez zbiorowisko wód podziemnych i dość wysokim tempie odnawialności. Jest to wypływ obudowany, cechujący się długim czasem zatrzymania wody w niszy. Większość elementów hydrochemicznych cechuje się małą zmiennością w okresie obserwacji, jednocześnie wyraźnie wyższa zmienność wyróżnia te elementy, które są uznanymi wskaźnikami zanieczyszczenia.

W źródle „Dobieszków" oznaczono 86 taksonów okrzemek. Pod względem bogactwa gatunkowego źródła środkowej Polski są znacznie zróżnicowane. W wodach „Niebieskich Źródeł", Rakowska (1996) oznaczyła 152 taksony okrzemek, a Żelazna-Wieczorek i Mamińska (2006), w źródle krasowym w dolinie Warty (okolice Działoszyna) zidentyfikowały 175 taksonów okrzemek. Natomiast w słonym źródle w Pełczyskach koło Ozorkowa, Rakowska (1997) zidentyfikowała 40 gatunków okrzemek – w większości gatunków halofilnych. W źródle helokrenicznym w Wielkopolskim Parku Narodowym, Paczuska (1999) zidentyfikowała 50 taksonów okrzemek, natomiast ze źródeł w Dolinie Dolnej Wisły Paczuska i Paczuski (1999) podają dla wszystkich źródeł do 50 taksonów okrzemek.

Na podstawie analizy podobieństwa składu gatunkowego, zidentyfikowanego w poszczególnych próbach oraz udziału taksonów dominujących w zbiorowisku w czasie prowadzenia badań, można wskazać na słabą dynamikę okrzemek występujących w źródle „Dobieszków". Gatunki stałe i dominujące, jak np.: *Karayevia clevei*, *Cocconeis pseudothumensis,* są ściśle związane z typem podłoża, jakim jest piasek (Round, Bukhtiyarova 1996). Na podstawie autekologii okrzemek V klasy stałości, występujących w źródłach, można w przybliżeniu określić warunki hydrochemiczne charakteryzujące te siedliska. Ocenę autekologiczną źródła „Dobieszków" potwierdziła jego charakterystyka hydrochemiczna, otrzymana na podstawie bezpośrednich pomiarów i analiz.

Analiza korelacji między wartościami badanych cech fizykochemicznych i reprezentacją poszczególnych, stałych taksonów okrzemek bentosowych źródła, wykazała istnienie grupy charakterystyk hydrochemicznych, których zmienność determinuje zmiany w obrębie populacji okrzemek. Dotyczy to głównie

elementów cechujących się dużą stabilnością w okresie badań. Rola elementów zmiennych jest niewielka, choć wskazuje na postępujący proces zanieczyszczenia wód źródlanych substancjami biogenicznymi. Wzrost ich stężeń przekłada się na dominację taksonów okrzemek eutroficznych takich jak: *Rhoicosphenia abbreviata*, *Amphora copulata*, *Amph. ovalis*, *Amph. pediculus*, *Encyonema silesiacum* (Van Dam i in. 1994).

Summary

Bentic diatoms of the „Dobieszków" spring on the background of habitat conditions

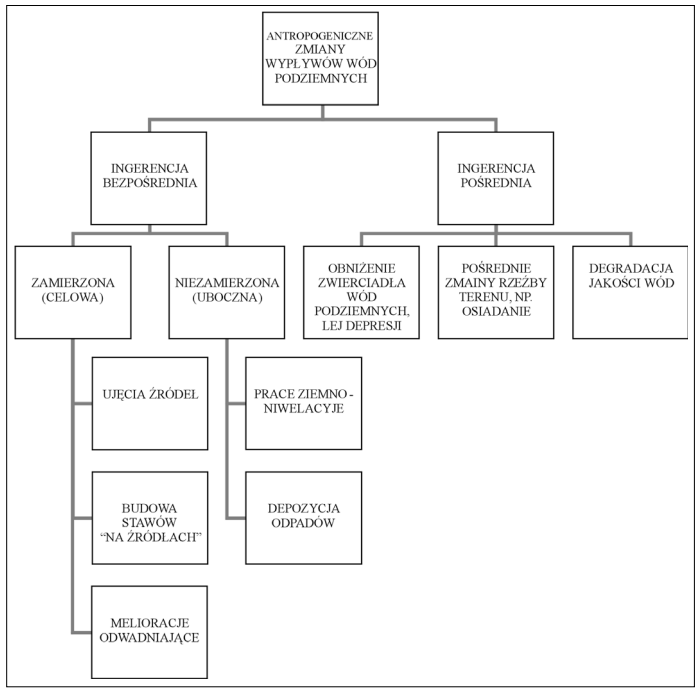
"Dobieszków" is a spring of low yield. This outflow is characterized by a low changeability of discharge and it is alimentated by aquifer of small resources. This outflow is cased what results in a longer water retention in spring niche. More hydrochemical elements presents small changeability during observations. Much more changeability is typical for these elements which are found as pollution indicators. In the "Dobieszków" spring there are 86 diatom taxa. Basing on species composition similarity among individual samples and share of taxa predominating in community one can indicate weak dynamics of the diatoms living in the "Dobieszków" spring. On the base of autecology of diatoms occuring in springs representing the fifth stability class it is possible to estimate hydrochemical conditions characterizing these habitats. Correlation analysis between values of studied physico-chemical features and representation of individual benthos diatom stable taxa of the spring showed existence of a group of hydrochemical characteristics which changeability is determining changes within diatom population. These elements which showed the highest stability of values have the absolute majority in that systematic process of spring water pollution with biogenic substances. Increase of biogenic substances concentrations causes predomination of euthrophic diatom species.

5. ZAGROŻENIA I OCHRONA ŹRÓDEŁ

Andrzej T. Jankowski
Tadeusz Molenda
Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej Obszarów Urbanizowanych, Uniwersytet Śląski
41-200 Sosnowiec, ul. Będzińska 60, ajank@us.edu.pl, tedimolenda@interia.pl

5.1. Wpływ antropopresji na warunki hydrologiczno-hydrochemiczne źródeł

Ingerencja człowieka w naturalne wypływy wód podziemnych przejawia się w różny sposób. Można wyróżnić dwa podstawowe rodzaje ingerencji, a mianowicie ingerencję zamierzoną (celową) i ingerencję niezamierzoną (uboczną) (ryc. 5.1.1). Ten pierwszy rodzaj obejmuje różnorodne formy celowego działania człowieka zmierzającego do przekształcenia wypływów, natomiast drugi − spowodowany jest działalnością człowieka, której głównym celem nie jest zmiana charakteru wypływu. Jednakże skutki, które może ona za sobą pociągnąć, wywołają przemiany krenologiczne, a nawet pogorszenie warunków życia człowieka.



Ryc. 5.1.1. Schemat oddziaływań antropogenicznych na wypływy wód podziemnych
Fig. 5.1.1. Scheme of anthropogenic influences on the outflows of groundwater

Bezpośrednie zmiany wypływów wód podziemnych, które są następstwem celowych działań człowieka należy utożsamiać głównie z budową ich ujęć. Niewątpliwie, był to najwcześniej wykorzystywany sposób pozyskiwania wód podziemnych. Możliwość ujęcia źródeł zależy od bardzo wielu czynników, w tym od charakteru i reżimu źródła, jego położenia i warunków terenowych, a także jakości bijących wód.

Ujęcie źródła jest zwykle związane z jego obudową. Może ona mieć formę systemu koryt lub zbiorników spiętrzających wodę na powierzchni terenu (drewnianych, kamiennych, betonowych, murowanych). Obudowa może też powstać w miejscu wypływu wody i mieć postać: sztolni, szybów lub basenów (Macioszczyk 2006). Aby chronić źródła przed wpływem czynników zewnętrznych i zanieczyszczeniem, obudowy źródeł są na ogół zamknięte. Warto podkreślić, że ujęcie źródła prowadzi nie tylko do transformacji samego wypływu, ale powoduje często przekształcenie całej niszy. Woda ujętych źródeł wykorzystywana jest zwykle na potrzeby bytowo-gospodarcze niewielkich jednostek osadniczych np. przysiółków. Znane są jednak przypadki wykorzystania w przeszłości wód źródlanych do celów przemysłowych (Moniewski, Ziułkiewicz 2006).

Specyficznemu rodzajowi przekształcenia uległy źródła traktowane jako miejsca kultu. Nierzadko przy źródle powstały kaplice lub ołtarze, stawiano także krzyże oraz figury świętych. Zdaniem Baścik (2003), „nadgorliwość" miejscowej ludności w upiększaniu źródeł jest niekiedy zbyt wielka i prowadzi często do obniżenia naturalnych walorów tych obiektów.

Źródła bardzo często wykorzystywane są do zasilania stawów hodowlanych. Dotyczy to w szczególności stawów pstrągowych, gdyż wody źródlane charakteryzują się w większości przypadków dobrymi parametrami jakościowymi. Ponadto, latem charakteryzuje je niska temperatura, co ułatwia rozpuszczanie tlenu, którego wysokie stężenie (7−8 $mg \cdot dm^{-3}$) jest niezbędne dla zapewnienia optymalnych warunków hodowli pstrąga. Dlatego też najstarszy, bo założony w połowie XIX wieku, kompleks stawów pstrągowych znajduje się poniżej źródeł (wywierzysk) „Zygmunta" i „Elżbiety" w Złotym Potoku (Wyżyna Częstochowska). Niestety, w wielu przypadkach, budowa stawów prowadzi do nieodwracalnej degradacji nisz źródliskowych. Dotyczy to w szczególności stawów budowanych wprost „na źródłach". Tego typu obiekty zakładane są najczęściej na terasach rzecznych. Wystarcza wówczas niewielkie pogłębienie i otoczenie groblą przyszłego stawu. Również budowa stawów „paciorkowych" polegająca na przegrodzeniu dna wąskiej doliny kilkoma groblami powoduje piętrzenie wód, czego następstwem może być zatopienie sąsiednich nisz źródlanych. Istnieje wiele przykładów tego rodzaju transformacji (degradacji) źródeł. Dość tu wymienić źródła w „Zimnych Dołach" na Płaskowyżu

Rybnickim. Zatopienie niszy może być również następstwem piętrzenia wód do celów energetycznych.

Antropogeniczne zmiany wypływów wód podziemnych mogą być również spowodowane melioracjami odwadniającymi. Dotyczy to w szczególności młak, w obrębie których rozbudowano sieć otwartych rowów odbierających wodę. W następstwie tego rodzaju drenażu, naturalny odpływ wody z młaki do cieku może całkowicie zaniknąć, a całość wody będzie kierowana do studni chłonnych lub kanałów.

Bezpośrednia degradacja źródeł związana jest również z pracami ziemno-niwelacyjnymi. Zakrojona, w ostatnich latach, na szeroką skalę urbanizacja obszarów podmiejskich, polegająca na budowie osiedli mieszkaniowych, dróg, autostrad, prowadzi do osuszenia (zdrenowania) lub zasypania wielu niewielkich wypływów wód podziemnych. Nisze źródliskowe stają się często obiektami, w których lokalizowane są wysypiska odpadów. Odnotowano również przypadki wylewania półpłynnych odpadów do nisz źródliskowych. Odrębnym zagadnieniem była w przeszłości depozycja odpadów przemysłowych, która prowadziła nie tylko do zasypania nisz, ale również całych źródliskowych odcinków dolin rzecznych. W wyniku infiltracji wód opadowych do podłoża takiego składowiska następuje powolne przemieszczanie się wody zasypanym „systemem drenażowym", co w efekcie prowadzi do jej wypływu na powierzchnię. Wizualnie, wypływy takie przypominają źródła (ryc. 2.7.2).

Jednym z najbardziej spektakularnych przejawów antropopresji pośredniej jest zanik źródeł na obszarach, gdzie w wyniku gospodarczej działalności człowieka doszło do obniżenia lub całkowitego zaniku zwierciadła wód podziemnych. Sytuacje tego typu najczęściej występują na obszarach górniczych i wiążą się z rozrostem lejów depresji w wyniku odwadniania górotworu. Obniżenie zwierciadła wód podziemnych może być również następstwem nadmiernego poboru wody podziemnej w jej ujęciach.

Zanik źródeł jest również zjawiskiem powszechnym na obszarach miejsko-przemysłowych. Czynniki prowadzące do zmian obiegu wody na obszarach zurbanizowanych są powszechnie znane (Jankowski 1986; Ozga-Zielińska 1996; Byczkowski 1997; Nowicka 2002) i nie wymagają szczegółowego omówienia. Do najistotniejszych należy zaliczyć pokrycie zlewni materiałami nieprzepuszczalnymi oraz istnienie nieszczelnej sieci kanalizacyjnej, która nierzadko drenuje wody infiltracyjne i płytkie wody podziemne. Jak podają Kuliczkowski i Lisowska (2002), w większych miastach niemieckich infiltracja wód podziemnych w ciągu doby wynosi 88 dm^3 na każde 100 m długości sieci kanalizacyjnej. Oznacza to, że w dzielnicach śródmiejskich o liczbie mieszkańców sięgającej około 75 000, ilość wody podziemnej przedostającej się i płynącej siecią kanali-

zacyjną wynosi około 75 000 $m^3 \cdot d^{-1}$. Również na terenie Bydgoszczy (bez dzielnicy Fordon), drenaż płytkich wód podziemnych poprzez sieć kanalizacyjną był bardzo wydajny. Jak podał Jankowski (1976), z 24 mln m^3 wód wsiąkających w podłoże miasta, 20 mln m^3 tj. ok. 80% przechwytywała i odprowadzała sieć kanalizacyjna.

Transformacja źródeł może być również następstwem osiadania terenu. Przykładem mogą być źródła Kłodnicy, pierwotnie stokowe a obecnie przekształcone w basenowe − wypływające w dnie zbiornika wodnego (Molenda, 1999). Również zainicjowane regulacjami rzek procesy wzmożonej erozji wgłębnej mogą prowadzić do zaniku lub przemiany źródeł korytowych na terasowe (Molenda 2003, 2005).

Antropopresja dotyka również jakości wód źródlanych (Matysik, Molenda 1999; Chełmicki 2001; Siwek 2004). Ocena jej wpływu jest jednoznacznie negatywna. Degradacja wód źródlanych jest następstwem zanieczyszczenia środowiska, w tym zanieczyszczenia wód opadowych, chemizacji rolnictwa, przenikania do wód podziemnych substancji ze składowisk odpadów przemysłowych, a także wadliwej gospodarki wodno-ściekowej. Na obszarach wiejskich szczególnie niebezpieczne są podwyższone koncentracje azotu azotanowego ($N\text{-}NO_3$), w wielu przypadkach przekraczające 50 $mg \cdot dm^{-3}$. W wodach źródeł położonych na obszarach miejsko-przemysłowych powszechnie odnotowuje się podwyższoną przewodność właściwą, a także ponadnormatywne stężenia: Cl^-, SO_4^{2-}, Na^+ i K^+. Dotyczy to w szczególności źródeł położonych w strefie oddziaływania składowisk odpadów przemysłowych.

Summary

Anthropogenic influences on the spring water condition

The chapter presents the influence of anthropopression on the natural outflows of groundwater. Such anthropogenic influences may be either intentional (deliberate) or unintentional (accessory). The first type is most frequently identified with spring intake whereas the latter one is associated with the degradation of water quality induced by the penetration of pollutants into a aquifers.

Lucyna Rajchel
Zakład Geologii Złożowej i Górniczej, Akademia Górniczo-Hutnicza
30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30, rajchel@geolog.geol.agh.edu.pl

5.2. Fascynujące źródła karpackie[1]

Wprowadzenie

Karpackie źródła wyprowadzają wody mineralne, akratopegii i wody słodkie. Są to szczawy oraz wody: kwasowęglowe, chlorkowe i siarczkowe. Zróżnicowanie składu chemicznego wód jest ściśle związane z litologią i tektoniką Karpat oraz warunkami lokalnymi. Źródła różnią się głównie mineralizacją, składem fizykochemicznym, zawartością składników swoistych (specyficznych), formą wypływu oraz genezą. W terenie możemy je rozpoznać po charakterystycznym smaku i zapachu wody, osadzie oraz wydobywającym się gazie, którym jest głównie dwutlenek węgla lub metan. Nisze źródlane mają znaczenie ekologiczne, gdyż są często siedliskami endemicznych i reliktowych roślin i zwierząt oraz rzadko spotykanych mikroorganizmów. Według regionalizacji wód mineralnych i leczniczych (Paczyński, Płochniewski 1996), opisywane źródła położone są w prowincji karpackiej, w regionie zewnętrznokarpackim i wewnętrznokarpackim. Różnice w składzie jonowym i wielkości mineralizacji wód podziemnych były podstawą do wydzielenia na obszarze jednostki magurskiej trzech stref hydrochemicznych (Węcławik 1967): centralnej, przejściowej i zewnętrznej.

Szczawy i wody kwasowęglowe

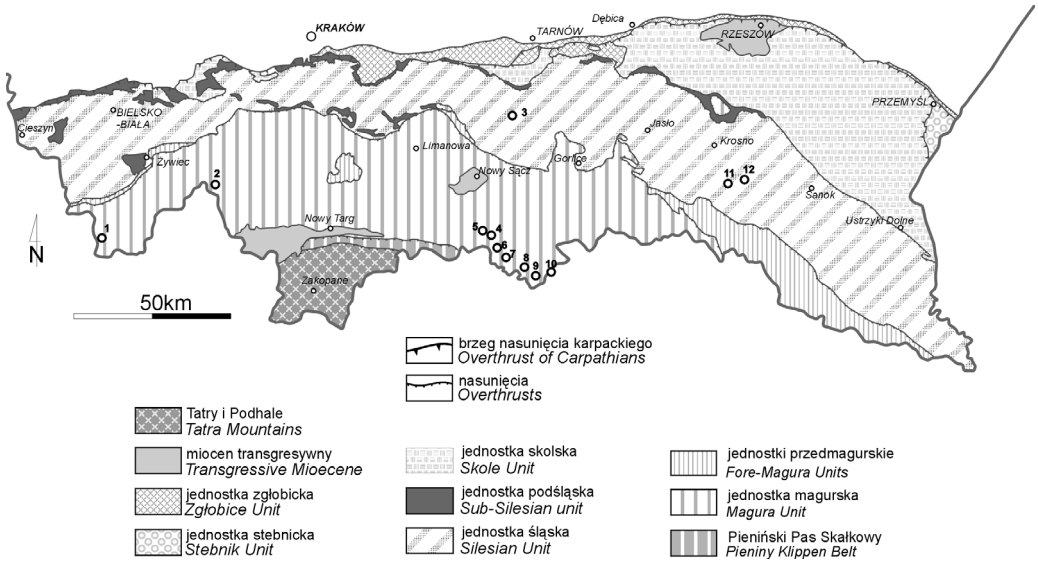
Wody te występują w Karpatach Polskich wyłącznie na obszarze jednostki magurskiej i śląskiej w subregionie popradzkim, rejonie iwonickim i bieszczadzkim (Paczyński, Płochniewski 1996). Udostępniają je liczne źródła i odwierty. Tego typu wody znajdują się w Polsce jeszcze tylko w Sudetach (Ciężkowski, Rajchel 2005). W trakcie prac terenowych w latach 2002–2005 zinwentaryzowano 68 źródeł i 134 odwierty (Rajchel 2006) ze szczawami i wodami kwasowęglowymi. W czasie badań na terenie Krynicy i Tylicza odnotowano zanik wielu

[1] Praca została wykonana na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie w ramach badań statutowych 11.11.140.890.

źródeł, co prawdopodobnie jest związane z powodziami, które nawiedziły ten teren w latach 2002–2004, i/lub prowadzoną w ostatnich latach zbyt intensywną i rabunkową eksploatacją wód.

Miejsca wypływu szczaw wyróżniają się charakterystycznym żółto-brunatnym osadem o barwie ochry oraz wydobywającymi się nieustannie bąblami dwutlenku węgla. Osady te zostały nazwane przez prof. Henryka Świdzińskiego (1972), badacza Karpat i ich wód mineralnych, „rudawkami". Ten charakterystyczny osad odznacza się niepowtarzalnym zabarwieniem, przechodzącym od różnych odcieni koloru żółtego, poprzez czerwony, rudoczerwony, ciemnowiśniowy do brązowego. Występuje on najczęściej w postaci cienkiej powłoki spienionego żelu lub galaretowatej, sporadycznie frędzlowatej zawiesiny. Pozbawiony kontaktu z wodą osad staje się przeważnie brunatno-żółty, kruchy, ziemisty, gruzłowaty. Jego obecność świadczy o przemijaniu źródeł, które zanikły głównie z powodu zmian warunków hydrogeologicznych lub w wyniku niszczącej działalności człowieka. Genezę omawianych osadów należy wiązać z utlenianiem Fe^{2+} obecnego w wodach w momencie ich kontaktu z tlenem atmosferycznym. Fe^{3+} natychmiast hydrolizuje, tworząc wodorotlenki. Proces ten zachodzi tym szybciej, im wyższe jest pH środowiska. Ponieważ odczyn wód, z których wytrąca się osad jest wysoki (6–7), można przyjąć, że proces ten przebiega bardzo szybko. Sprzyja to powstawaniu ferrihydrytu, który z kolei może z upływem czasu przechodzić w getyt. Kwestią otwartą pozostaje zagadnienie, w jakim stopniu w utlenianiu Fe^{2+} mają udział mikroorganizmy. W badanych osadach stwierdzono obecność bakterii utleniających żelazo: *Galionella ferruginea, Leptothrix ochracea i Thiobacillus ferrooxidans* oraz: *Bacillus, Clostridiu* i *Desulfovibrio* redukujące związki żelaza. Podstawowa rola tych bakterii w osadach (szczególnie w środowisku kwaśnym) polega na utlenianiu Fe^{2+} do Fe^{3+}, który jako nierozpuszczalny w wodzie wytrąca się w postaci $Fe(OH)_3$, tworząc charakterystyczne rudawki. Rola mikroorganizmów w powstawaniu osadów nie jest do końca jasna, gdyż kwestia proporcji czynników abiotycznych i biotycznych pozostaje dyskusyjna (Rzepa, Rajchel 2006).

Najładniejsze źródła wód typu szczaw związane są z jednostką magurską zewnętrznych Karpat fliszowych i występują w dolinie Popradu oraz w dolinach jego prawobrzeżnych dopływów, na odcinku od Piwnicznej po Tylicz (ryc. 5.2.1). Jest to tzw. Popradzkie Zagłębie Balneologiczne – największe niekwestionowane naturalne bogactwo Ziemi Sądeckiej. Znajduje się tu najwięcej źródeł i ujęć szczaw, które wykorzystywane są do celów balneologicznych w licznych uzdrowiskach (np.: Krynica, Muszyna, Żegiestów). Część z nich jest butelkowana w kilkunastu rozlewniach (np. w: Krynicy, Tyliczu, Powroźniku, Muszynie, Leluchowie, Zubrzyku i Piwniczej).



Ryc. 5.2.1. Geologiczna mapa Karpat (wg Żytko 1988, zmienione). Punktami zaznaczono wybrane źródła
1 – Sól, 2 – Lipnica, 3 – Polichty, 4 – Barcice, 5 – Roztoka Ryterska, 6 – Łomnica, 7 – Wierchomla, 8 – Złockie, 9 – Krynica, 10 – Tylicz, 11 – Iwonicz, 12 – Rymanów
Fig. 5.2.1. Geological map of Carpathians (after Żytko 1988, simplified). Dots indicate position of described springs

Źródła wód siarczkowych

Źródła tego typu są licznie reprezentowane na obszarze niemalże wszystkich jednostek tektonicznych polskich Karpat (Rajchel 2000). O ich obecności świadczy charakterystyczny zapach siarkowodoru i osad, który powstaje na dnie niszy źródliskowej i wzdłuż drogi odpływu wody. Osady te tworzą kolonie bakterii siarkowych, występujące w postaci frędzli, nitek, pajęczynowatych sieci, osadu, darni lub naskorupień w kolorze białym, różowym, fioletowym lub purpurowym. Białe kolonie tworzą nitkowate bakterie *Beggiatoa* i *Thiothrix*; występują one we wszystkich źródłach siarczkowych Karpat. Barwę fioletową reprezentuje *Thiocapsa roseopersicina*, występująca w postaci misternej powłoki na dnie i ścianach niszy. Barwę różową i purpurową nadaje osadom obecność bakterii rodzaju *Chromatium*. Osady źródeł wód siarczkowych tworzą się na drodze chemicznej i biogenicznej. W pierwszym przypadku ma miejsce wytrącanie się siarki i gipsu, w drugim − jest to rezultat metabolizmu zróżnicowanej grupy bakterii siarkowych, które czerpią energię życiową z utleniania siarkowodoru i jego związków do siarki akumulowanej wewnątrz i na zewnątrz komórek.

Źródła wód chlorkowych

Źródła wód chlorkowych na obszarze Karpat Zewnętrznych należą do rzadkości, a zupełnie sporadycznie występują tam solanki, czyli wody chlorkowe o mineralizacji od 35 $g \cdot dm^{-3}$. Jedną z miejscowości, posiadającą źródła tego typu, jest Sól w Beskidzie Żywieckim (Michalik, Drobisz 1982) Występują tam wody chlorkowe wyprowadzane na powierzchnię źródłami „Warzelniane" (fot. 5.2.1) i „Słanica". Są to jedyne w Karpatach solanki, o mineralizacji sięgającej 40 $g \cdot dm^{-3}$ (Rajchel i in. 2004). Wody o wyższej mineralizacji są znane jedynie z wierceń. Źródło „Warzelniane" ma swoją bogatą historię, sięgającą co najmniej 1662 roku. Jak podaje Komoniecki (1937) „...we wsi Soli w Państwie Żywieckim od granic Węgierskich sól warzono, zaciągnąwszy z Wieliczki górników, którzy wykopawszy studnie (w miejscu źródła) dostali wód słonych i sól z nich warzyli". Lotna Brygada Straży Skarbowej zamknęła źródło w 1933 roku, uniemożliwiając korzystanie z solanki. Źródła wód chlorkowych były świadomie niszczone i zasypywane kamieniem i drewnem w okresie rozbiorów Polski, ponieważ stanowiły konkurencję dla przejętych przez władze austriackie kopalń soli w Wieliczce i Bochni (Rajchel i in. 2004). Dlatego wiele źródeł opisywanych przez Altha (1870) i Szajnochę (1891) trudno jest obecnie zlokalizować. Niektóre udało się po wielu latach odkopać (np. w Sołonce i w Pewli Wielkiej).

Wybrane fascynujące źródła

Niektóre „dzikie" źródła są pięknymi elementami krajobrazu, szczególnie te, którymi wypływają szczawy i wody siarczkowe (fot. 5.2.2). Charakteryzują się one odmiennym, różnobarwnym osadem na dnie niszy źródeł i drodze odpływu wody. Zjawiska te manifestują się w terenie, zwracają uwagę, przez co zdradzają swoją obecność (fot. 5.2.3−5). Znajdują się one często na obszarze lub w otulinie karpackich parków narodowych np. Popradzkiego, Magurskiego, Babiogórskiego, Żywieckiego, zwiększając walory przyrody nieożywionej.

Bywają również źródła stylowo obudowane, dostarczające wrażeń estetycznych i zwiększające atrakcyjność krajobrazu. Niektóre, szczególnie wyprowadzające wody mineralne, stanowią mini pijalnie, są znane i oblegane przez kuracjuszy i turystów (fot. 5.2.6−9).

Wśród nich są również źródła mające swoją udokumentowaną długą i ciekawą historię; to im zawdzięczają swój początek i sławę niektóre uzdrowiska. Historia Krynicy jest nierozerwalnie związana ze źródłem Zdrój Główny (fot. 5.2.10). Źródło znane było już w XV wieku; jego wody używano przez 200 lat zanim pojawiła się o nim pierwsza wzmianka. Jak pisze w roku 1721 ks. Gabriel Rzączyński w dziele „Historia naturalia curiosa Regni Poloniae Gedanit": „... Oprócz Drużbak są szczawy w Muszynie i Krynicy w dobrach biskupstwa

krakowskiego. Służą one pijącym..." (Skórczewski 1906). Pierwszą analizę chemiczną wody wykonał prof. Uniwersytetu Lwowskiego Baltazar Hacquet w roku 1788. Zamieścił on również pierwszy opis źródła „...To źródło wielkości sążnia kwadratowego ujęte w drewnianą cembrzynę wytryska u podnóża gór, od strony zachodniej, ale nie ma tu żadnego domu, ani żadnego schronienia. Dlatego musiałem przede wszystkim zbudować szałas z gałęzi, gdyż celem badania wody ze źródła musiałem pozostać na miejscu dwa dni..." (Skórczewski 1906). Zalążek przyszłej Krynicy – pierwszy drewniany dom, wybudowano przy źródle, które ocembrowano w 1793 roku (Zieleniewski 1874; Lewicki 1913). Ogromne zasługi dla rozwoju Krynicy były dziełem prof. Józefa Dietla (Rajchel, Rajchel 2005).

Źródła były i są nadal miejscami kultu, tematem legend, natchnieniem poetów i malarzy. To słynnej iwonickiej „Bełkotce", z której wydobywają się nieustannie bąble metanu, Wincenty Pol poświęcił wiele strof swej poezji, dlatego jego popiersie umieszczono tuż przy źródle ze strofami wiersza (fot. 5.2.11). Ze źródłem tym związanych jest wiele legend, ponieważ często wydobywał się z niego ogień. O fenomenalnym zjawisku, jakim jest źródło, śpiewał sam niezapomniany Jacek Kaczmarski w pieśni „Źródło".

Usłyszano wreszcie niepowtarzalne dźwięki wydawane przez źródła codziennie od setek lat, z których uchodzi w periodycznych skurczach dwutlenek węgla. Stały się przez to inspiracją także dla muzyków z zespołu Magiczne Karpaty, którzy wydali płytę, rejestrując autentyczne brzmienie dźwięków z głębi Ziemi. Pochodzą one ze źródeł „Zatopione" (fot. 5.2.12) i „Bulgotka" (fot. 5.2.13) oraz ekshalacji „Dychawka" (fot. 5.2.14), znajdujących się na terenie najpiękniejszej w Polsce mofety dwutlenku węgla. Nazwy te doskonale obrazują ich charakterystyczne cechy, gdyż pękające bąble wydają syczące i bulgoczące odgłosy, a z ekshalacji Dychawka słychać „oddech Ziemi." Na atrakcyjną oprawę mofety wpływa bulgoczące rdzawożółte błoto, kolorystycznie kontrastujące z porastającą je intensywnie zieloną roślinnością, która należy do zespołu siedlisk wilgotnych i błotnych. Mofeta usytuowana jest w dolinie Potoku Złockiego w Złockiem koło Muszyny i jest udostępniona do zwiedzania.

Karpackie źródła, o szczególnych walorach krajoznawczo-dydaktycznych, zostały objęte prawną ochroną jako pomniki przyrody nieożywionej i są prawem chronione (fot. 5.2.15−17). Pierwszym w Karpatach źródłem objętym taką ochroną, jako pomnik przyrody nieożywionej, była wspomniana wyżej „Bełkotka" w Iwoniczu. Obecnie prawną ochroną objętych jest kilkanaście źródeł a kolejne, godne ochrony, oczekują na prawne zatwierdzenie (Rajchel, Rajchel 1999).

Wody i osady (fot. 5.2.18a,b) z wybranych źródeł są obiektem licznych badań, zakończonych i kontynuowanych: fizykochemicznych, mineralogicznych, mikrobiologicznych i izotopowych. Wyniki tych badań dostarczają obszernego

i ciekawego materiału, który jest wnikliwie analizowany przez specjalistów różnych dziedzin.

Summary

Fascinating springs of The Carpathians

Springs are unusual hydrological phenomena and often represent an attractive component of the landscape, particularly those that occur in the natural state and provide mineral waters. Springs differ in the form of their outlets, mineralization, the physical features and chemical composition, the specific components, eventually in the genesis. The springs of carbonated waters and sulphurous waters reveal their presence in the field with a specific odour and characteristic deposits. Some other springs have been developed, with their outlets either lined up or groupped within stylish structures, turned into mini-drinking stands and visited by tourists and spa patients. Other springs have also long, well documented history and were the groundwork for some future spas. Some springs were regarded as the cult places, a basis of legends, and an inspiration for poets and painters. At last there are springs emitting unique sounds resulting from periodic emissions of carbon dioxid. These spasmatic sounds even influenced musicians who produced a special records presenting the authentic voices emanatig from the depths of our Earth.

Włodzimierz Humnicki
Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Uniwersytet Warszawski
02-089 Warszawa, ul. Żwirki i Wigury 93, w.humnicki@uw.edu.pl

5.3. Znaczenie badań naturalnych wypływów wód podziemnych w rozpoznaniu warunków hydrogeologicznych górskich obszarów chronionych na przykładzie Pienin

Wstęp

Niewielkie pasmo górskie Pienin obejmuje swym zasięgiem jeden z najpiękniejszych zakątków Polski i Słowacji, z licznymi osobliwościami przyrody żywej i nieożywionej oraz prawdziwym fenomenem krajobrazowym i przyrodniczym, jakim jest przełom Dunajca. Najcenniejszy przyrodniczo obszar jest chroniony przez utworzony w 1932 r. Pieniński Park Narodowy, pierwszy w Europie i drugi na świecie „międzynarodowy" park przyrody, obejmujący teren po obu stronach granicy państwowej (Goetel 1929; Szafer 1964; Smólski 1960, 1982; Witkowski 2003).

Najwybitniejsi badacze geologii Pienin i całej jednostki geologiczno-strukturalnej pienińskiego pasa skałkowego (m.in. Birkenmajer, 1979) podkreślają, że pod względem stylu budowy i jej skomplikowania obszar ten nie znajduje odpowiednika w geologii regionalnej świata. Utwory, z których zbudowany jest pas skałkowy, są tak intensywnie sfałdowane i złuskowane, a miejscami zdruzgotane na soczewki i bloki metrowych rozmiarów, że określane są często nazwą „megabrekcji tektonicznej".

Mozaikowa budowa geologiczna pasa, przejawiająca się w sąsiedztwie niewielkich powierzchniowo, a odmiennych litologicznie utworów, w sposób oczywisty wpływać musi również na duże zróżnicowanie i komplikację warunków hydrogeologicznych. Jednak w odróżnieniu od obfitości prac dotyczących zagadnień geologii pienińskiego pasa skałkowego i jego pozycji tektonicznej w łańcuchu Karpat, prace hydrogeologiczne dotyczące samych Pienin i ich najbliższego otoczenia reprezentowane są stosunkowo skromnie. Przyczyn takiego stanu rzeczy należy upatrywać w fakcie, iż obszar ten nie posiada użytkowego piętra wodonośnego i z reguły nie obejmowano go bardziej szczegółową charakterystyką hydrogeologiczną. Pieniński pas skałkowy zwykle traktowany był jako obszar

bezwodny, nie spełniający i tak już obniżonych dla obszaru karpackiego kryteriów (Chowaniec i in. 1981; Chowaniec, Witek 1997a,b).

Z naukowego punktu widzenia Pieniny stanowią niezwykle cenny poligon badawczy, pozwalający na rozpoznanie naturalnych warunków hydrogeologicznych na obszarze, w którym warunki te nie zostały poddane bezpośrednim wpływom gospodarczej działalności człowieka.

Szczegółowe badania hydrogeologiczne Pienińskiego Parku Narodowego i obszarów przyległych, zapoczątkowane w połowie lat 90. ubiegłego wieku, miały na celu rozpoznanie środowiska geologicznego wód podziemnych, warunków ich występowania, krążenia i drenażu oraz właściwości fizykochemicznych i jakości, zarówno wód podziemnych, jak i powierzchniowych. Badania te umożliwiły określenie wpływu naturalnych czynników przyrodniczych na kształtowanie się warunków hydrogeologicznych oraz, na tym tle, określenie roli czynników antropogenicznych (Małecka 1996a; Małecka, Humnicki 2001, 2002; Humnicki 2003, 2005).

Przy rozpoznaniu warunków hydrogeologicznych tak cennego przyrodniczo i wyjątkowego obszaru możliwe było zastosowanie jedynie niektórych, wybranych metod badawczych, nie kolidujących z zasadami ochrony przyrody. Przy braku penetracji otworami wiertniczymi rozpoznanie warunków hydrogeologicznych z konieczności musiało oprzeć się głównie na wynikach badań terenowych, spośród których badania naturalnych wypływów wód podziemnych odegrały pierwszorzędną rolę.

Badania terenowe

Badaniom tym przyświecały dwa główne cele. Pierwszym z nich było scharakteryzowanie środowiska geologicznego pienińskiego pasa skałkowego pod kątem możliwości występowania i krążenia wód podziemnych. Ważnym elementem tych badań były pomiary szczelinowatości masywu w naturalnych odsłonięciach oraz laboratoryjne oznaczenia parametrów hydrogeologicznych próbek skał.

Drugim celem prac terenowych była możliwie pełna inwentaryzacja naturalnych przejawów wód podziemnych w postaci źródeł, wycieków i podmokłości, obiektów gospodarki wodnej oraz potencjalnych ognisk zanieczyszczeń, których wpływ może uwidocznić się w jakości wód, zarówno podziemnych jak i powierzchniowych.

Na obszarach górskich szczególnie ważnym elementem środowiska przyrodniczego są wszelkie naturalne przejawy wód podziemnych na powierzchni terenu. Źródła i inne, nieskoncentrowane wypływy traktowane są jako naturalne „odsłonięcia" wód podziemnych (Małecka 1997b; Małecka, Humnicki 2001, 2002).

Źródła pienińskie często występują na obszarach, którym towarzyszą podmokłości, stąd kwalifikacja ich do źródeł lub wypływów nie skoncentrowanych jest podejściem indywidualnym każdego badacza. Ważne znaczenie ma przyjęta metoda obliczenia wskaźnika krenologicznego (tzn. z uwzględnieniem czy pominięciem wypływów nieskoncentrowanych, źródeł okresowych, źródeł ujętych itd.), a także ścisłe określenie granic obszaru. I tak np. porównanie uzyskanej dla Pienińskiego Parku Narodowego wartości wskaźnika uźródłowienia (7,2 źr·km^{-2}) z licznymi publikacjami Kostrakiewicza (1965, 1991a,b, 1992, 1996a,b, 1998) jest trudne i skomplikowane faktem analizowania przez tego autora źródeł Pienińskiego Parku Narodowego łącznie z fragmentami jednostki magurskiej lub nawet Kotliny Orawsko-Nowotarskiej.

Wśród hydrogeologów dominuje na ogół dążenie do priorytetowego traktowania ośrodka skalnego i charakteru przewodów hydraulicznych, którymi woda podziemna dopływa do źródła, jako podstawy ich klasyfikacji, natomiast w badaniach prowadzonych przez hydrologów i hydrografów eksponuje się bardziej sposób wypływu i morfologię niszy źródliskowej. Zupełnie odmienną klasyfikację naturalnych wypływów wody podziemnej na powierzchnię terenu stosuje się w hydrobiologii. Wynika stąd wniosek, iż w zależności od potrzeb i celu badawczego, w jakim podział źródeł ma być przeprowadzony – korzystać należy z wybranych kryteriów, a pomijać inne.

W Pieninach mamy do czynienia ze szczególnie dużą różnorodnością źródeł wywołaną faktem nakładania się takich czynników jak geomorfologia w strefie wypływu, wykształcenie litologiczne utworów, z których wypływa woda podziemna oraz ich zaangażowanie tektoniczne. Klasyfikację komplikuje występowanie zwietrzeliny o różnej miąższości i różnym wykształceniu litologicznym. Należy również zwrócić uwagę, że w obrębie silnie zaangażowanych tektonicznie utworów pienińskiego pasa skałkowego istnieje możliwość przepływu wód podziemnych z jednego ośrodka skalnego do drugiego, a położenie źródła w obrębie danego wydzielenia litologicznego nie przesądza jeszcze o tym jakie utwory faktycznie są drenowane. Zgodnie z zaleceniami Pazdro i Kozerskiego (1990) każde źródło pienińskie charakteryzowano więc wielostronnie przy uwzględnieniu wszystkich możliwych do zastosowania kryteriów.

Istotną rolę odegrało rozpoznanie właściwości fizykochemicznych oraz jakości wód podziemnych drenowanych przez źródła. Obejmowało ono terenowe badania wskaźnikowe temperatury wody, odczynu pH i przewodności elektrolitycznej właściwej, laboratoryjne oznaczenia składu jonowego i mineralizacji, oznaczenia mikroskładników oraz wskaźników bakteriologicznych i BZT_5 (Humnicki 2005). Szczegółowa analiza rozkładu przestrzennego właściwości fizykochemicznych oraz składu jonowego i mineralizacji stały się podstawą wy-

różnienia rejonów hydrochemicznych (Małecka, Humnicki 2002). Znaczna liczba powtórzonych oznaczeń składu jonowego i mineralizacji umożliwia również analizę problemu sezonowej zmienności chemizmu wód drenowanych przez monitorowane źródła.

Obserwacje stacjonarne

Na początku lat 70. XX w. zorganizowana została na terenie Tatr i Podhala rozległa sieć systematycznych obserwacji stacjonarnych wód podziemnych w wytypowanych źródłach i studniach, obejmująca również obszar pienińskiego pasa skałkowego (Małecka 1985, 1996a; Małecka, Lipniacka 1990; Kazimierski i in. 1999). Na obszarze Pienin właściwych obserwowane było w latach 1975–1982 źródło w Czorsztynie, usytuowane w dolinie Dunajca, w miejscu zatopionym przez wody Zbiornika Czorsztyńskiego (Małecka, Humnicki 2002). Pozostały obszar Pienin właściwych pozbawiony był ciągłych obserwacji stacjonarnych źródeł, z wyjątkiem prowadzonych przez Kostrakiewicza (2002) kilkuletnich badań źródła siarkowodorowego w dolnej części doliny Ociemnego Potoku.

W związku z powyższym, w celu szczegółowego rozpoznania warunków hydrogeologicznych Pienin, koniecznym stało się rozbudowanie sieci obserwacji stacjonarnych źródeł. Przez okres sześciu lat hydrologicznych (1999–2004) prowadzono codzienne obserwacje wydajności i temperatury wody w źródle kontrolnym Balarówka, a w latach 2002–2003, dzięki środkom finansowym KBN (projekt badawczy nr 5 T 12B 00 123) zainstalowano elektroniczne limnimetry z ciągłą rejestracją danych w trzech wytypowanych źródłach oraz dwa automatyczne pluwiometry rejestrujące opady atmosferyczne (tab. 5.3.1; por. ryc. 3.1.1).

Obserwacje limnimetryczne i pluwiometryczne

Jednoczesna analiza wyników pomiarów zarejestrowanych przez limnimetry i pluwiometry umożliwia określenie wrażliwości wód podziemnych i powierzchniowych na opady atmosferyczne i wiosenne topnienie pokrywy śnieżnej. Przyrządy zostały wyprodukowane przez Ośrodek Techniki Jądrowej „Polon" we Wrocławiu, składają się one z bloku elektroniki zasilanego hermetycznym akumulatorem kwasowym 6V oraz mechanizmu pomiarowego. W limnimetrach jest to sonda pojemnościowa, której zasada działania oparta jest na zmianie pojemności kondensatora koncentrycznego przy zmianie poziomu wody – błąd pomiaru stanu zwierciadła wody wynosi ok. 1 mm. Mechanizm pomiarowy w pluwiometrach wykonany jest w formie uchylnego naczynia miareczkującego, które generuje impuls elektryczny z rozdzielczością 0,1 mm opadu. Wszystkie przyrządy wymagają okresowej obsługi, w praktyce przeciętnie co 2–3 miesiące, polegającej na wymianie akumulatorów oraz przepisaniu zebranych danych na kartę chipową.

Tab. 5.3.1

Źródła pienińskie objęte obserwacjami stacjonarnymi
Springs in the Pieniny Mts covered by stationary monitoring program

Lp.	Nr źródła (por. ryc. 3.1.1)	Lokalizacja / nazwa źródła	Rzędna [m n.p.m.]	Typ źródła	Obserwacje stacjonarne
1	1	Źródło Kirowego Potoku	769	szczelinowe, ekranowane zwietrzeliną, descensyjne, podgrzbietowe, okresowe	limnimetr od I.2003 r. (badania własne autora)
2	2	Źródło Kotłowego Potoku	639	dyslokacyjne, ekranowane zwietrzeliną, ascensyjne, zboczowe, stałe	limnimetr od I.2003 r. (badania własne autora)
3	7	Źródło pod Wysokim Działem	664	szczelinowe, ekranowane zwietrzeliną, descensyjne, zboczowe, stałe	limnimetr od XII.2001 r. (badania własne autora)
4	8	Źródło Balarówka	590	szczelinowe, ekranowane zwietrzeliną, descensyjne, zboczowe, okresowe	1999−2004 (badania własne autora)
5	10	Źródło H_2S w dolinie Ociemnego Potoku	448	dyslokacyjne, ekranowane zwietrzeliną, ascensyjne, dolinne, przykorytowe, stałe	1981–1989 (L. Kostrakiewicz)
6	11	Czorsztyn	530	szczelinowe, ekranowane zwietrzeliną, descensyjne, dolinne, podzboczowe, stałe	1975–1982 (D. Małecka)
7	12	Falsztyn	638	dyslokacyjne, skalne, ascensyjne, stokowe, stałe	1975–2004 (D. Małecka)
8	13	Niedzica	520	szczelinowe, ekranowane zwietrzeliną, descensyjne, podzboczowe, stałe	1970−1996 (D. Małecka)

W wyniku rozpoznania hydrogeologicznego terenu, po uwzględnieniu aspektów technicznych związanych z możliwością zamontowania i prawidłowego funkcjonowania przyrządów, do obserwacji limnimetrycznych wytypowano trzy źródła: Kirowego Potoku (nr 1), Kotłowego Potoku (nr 2) i pod Wysokim Działem (nr 7) (por. ryc. 3.1.1).

Pierwszy z pluwiometrów został umieszczony w szczytowych partiach Pienin na Polanie Wielka Dolina na wysokości 780 m n.p.m. (nr 6), drugi – na Polanie Podłaźce na terenie Stacji Metrologicznej Pienińskiego Parku Narodowego w Sromowcach Niżnych, na wysokości 500 m n.p.m. (nr 3), tuż obok standardowego deszczomierza Hellmana, co umożliwia porównanie i bieżącą weryfikację uzyskiwanych danych. Przyrządy te rejestrują w prawidłowy sposób opady jedynie w okresie dodatnich temperatur powietrza, pod warunkiem, że odpływ z powierzchni recepcyjnej do wnętrza przyrządu jest drożny, tzn. nie zatkany drobinami materii unoszonymi przez wiatr, pyłkami kwiatów, owadami itp. Do

weryfikacji danych wykorzystano informacje z najbliższych posterunków opadowych IMiGW, a także posterunków słowackich.

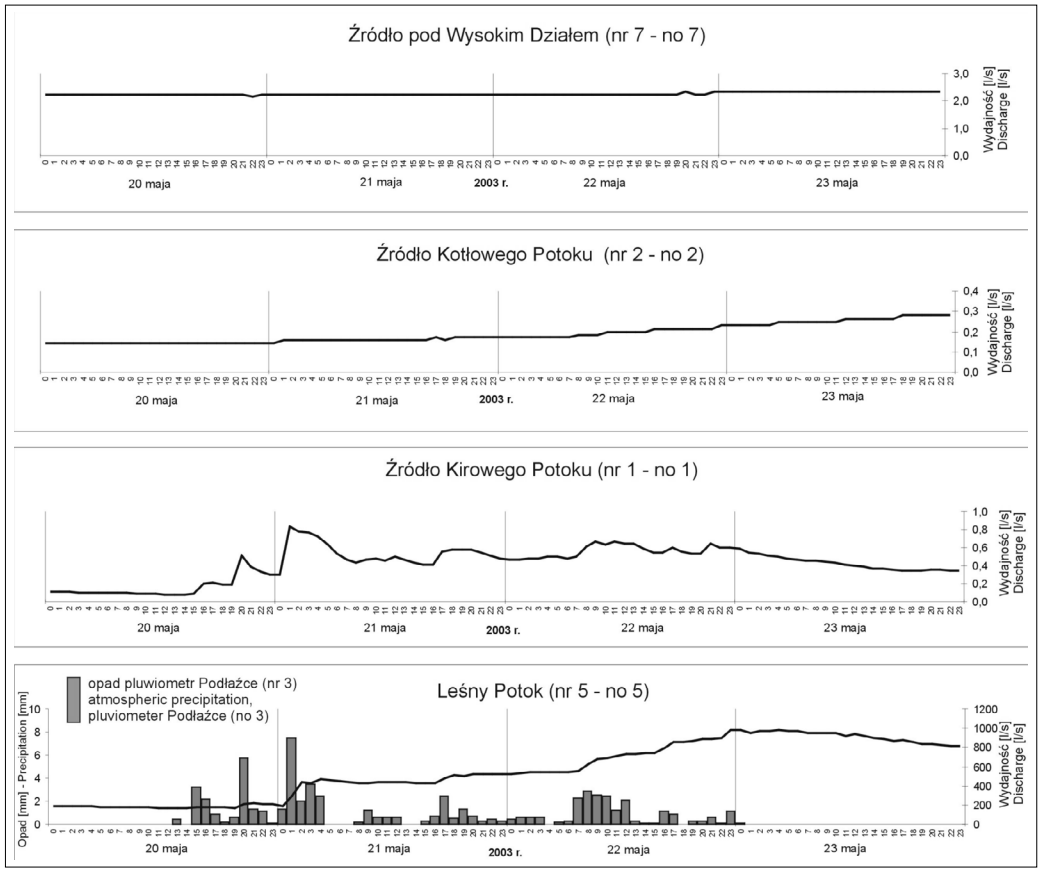
Ze względu na charakter zmienności oraz styl wahań stanów wód podziemnych w źródłach, rejestracja danych następuje w odstępie 60 minut. Taki też interwał czasowy przyjęto do obliczeń skumulowanych wartości opadów. Dotychczasowe doświadczenia wskazują, iż jest to czas wystarczająco krótki dla prawidłowej interpretacji wyników, a umożliwia zapisanie danych w pamięci przyrządu ze stosunkowo długiego okresu czasu.

Od momentu zainstalowania limnimetrów wykonywane są okresowe pomiary wydajności monitorowanych źródeł. Wyznaczone na tej podstawie krzywe konsumcyjne umożliwiają przeliczenie wartości rejestrowanych stanów na odpowiadające im wydajności.

Tego typu obserwacje nie są pierwszymi w polskich górach. Od listopada 1998 r. pracują podobnego typu limnimetry na pięciu najważniejszych wywierzyskach tatrzańskich. Badania te w istotnym stopniu przyczyniły się do rozpoznania dynamiki wód krasowych na obszarze Tatr Zachodnich oraz określenia więzi hydraulicznych pomiędzy poszczególnymi wywierzyskami (Barczyk i in. 2001, 2002; Barczyk 2003).

Przykładową reakcję źródeł pienińskich na opady atmosferyczne ilustruje ryc. 5.3.1. W okresie od 20 do 23 maja 2003 r. wystąpiły znaczne opady atmosferyczne, poprzedzone kilkudniowym, praktycznie bezdeszczowym okresem. Najszybszą reakcję na opady wykazało źródło Kirowego Potoku (nr 1), w którym niemal natychmiast zaznaczyły się wzrosty wydajności. Przebieg wykresu, wykazujący wyraźną reakcję nie tylko na opad, ale nawet na najmniejsze zmiany jego intensywności, wskazuje na płytkość dróg krążenia wód podziemnych wypływających w źródle i bardzo krótki czas ich przebywania w środowisku skalnym. Dodatkowo sprzyja temu morfologiczne położenie źródła w strefie podgrzbietowej.

Zupełnie inną reakcję ma położone w tej samej zlewni źródło Kotłowego Potoku (nr 2). Źródło bardzo powoli reagowało na opad. W całym czterodniowym okresie, obserwowano naturalny trend wzrostu wydajności, utrzymujący się również po zakończeniu opadów. Źródło ma więc reżim niezależny od chwilowego zasilania opadami atmosferycznymi, co świadczy o zdecydowanie głębszym krążeniu wód podziemnych, związanym najprawdopodobniej ze strefą dyslokacyjną. Wydaje się, iż czynnik, z którym należy wiązać stopniowy wzrost wydajności w tym okresie, to wynik opóźnionej reakcji związanej z wiosennym topnieniem pokrywy śnieżnej. Trendu wznoszącego nie stwierdzono natomiast w Źródle pod Wysokim Działem (nr 7), gdzie wydajność utrzymywała się praktycznie na stałym poziomie. Źródło to posiada najbardziej stabilny reżim, nieza-



Ryc. 5.3.1. Porównanie reakcji Leśnego Potoku i monitorowanych źródeł na opady atmosferyczne w okresie 20–23 maja 2003 roku (wartości godzinowe).
Fig. 5.3.1. Comparison of the reaction of the Leśny Potok stream and the monitored springs onto the atmospheric precipitation within the period 20th–23rd of May 2003 (hour values)

leżny od bieżących opadów atmosferycznych. Zróżnicowana była również reakcja źródeł w okresie wiosennego topnienia pokrywy śnieżnej (Humnicki 2006a).

Na terenie Pienińskiego Parku Narodowego został stworzony zalążek nowoczesnej sieci monitoringu wód podziemnych. Limnimetry i pluwiometry, umieszczone w stosunkowo trudno dostępnym terenie górskim, z daleka od siedzib ludzkich, uniezależniają prowadzenie badań od obserwatorów i eliminują większość subiektywnych czynników wpływających na pomiary. Dotychczasowy, trzyletni okres eksploatacji przyrządów dostarczył wielu cennych informacji na temat reakcji źródeł na opady atmosferyczne i wiosenne topnienie pokrywy śnieżnej. W większości są to dane, których nie można byłoby zebrać przy zastosowaniu innych metod badawczych.

Badania izotopowe

W aspekcie określenia zasilania i krążenia wód podziemnych, ważnym materiałem badawczym stały się wyniki oznaczeń izotopów trwałych tlenu i wodoru oraz zawartości trytu w wodach trzech źródeł. Przy ich wyborze kierowano się przesłankami wynikającymi z reżimu hydrogeologicznego. Wybrano źródła, co do których można było przypuszczać, że wypływają w nich wody nieco głębszego krążenia, w tym położone na słowackim brzegu Dunajca Źródło Stuletnie, najbardziej wydajne i najciekawsze źródło Pienińskiego Parku Narodowego.

Skład izotopowy wód drenowanych przez wszystkie źródła ^{18}O i ^{2}H wskazuje, iż są to wody pochodzenia meteorycznego, należące do współczesnego cyklu hydrologicznego. Potwierdzają to ujemne wartości $\delta^{18}O$ i $\delta^{2}H$, wskazujące na istotne zubożenie wód podziemnych w cięższe izotopy tlenu i wodoru w stosunku do wody oceanicznej (VSMOW) oraz położenie punktów w pobliżu Globalnej Linii Wód Opadowych.

Obecność w znacznym stężeniu trytu (od 10,7 do 13,6 T.U.), stanowi dowód na związek zbiorników wód podziemnych drenowanych przez źródła z intensywnym, współczesnym zasilaniem infiltracyjnym i oznacza, że wody ze wszystkich źródeł są „wrażliwe na antropopresję" (Felter, Nowicki 1997).

W celu określenia wieku wody dodatkowo wykonano badania izotopowe w wodzie opadowej pobranej w Krościenku-Białym Potoku. Umożliwiło to zastosowanie do obliczeń najprostszego modelu tłokowego – PFM (*piston flow model*) (Zuber 1986) − i określenie średniego czasu przepływu wody wypływającej w poszczególnych źródłach.

Względnie długi czas przebywania w środowisku skalnym wody wypływającej w źródle Kotłowego Potoku (4 lata i 3 miesiące) zdaje się potwierdzać przypuszczenie o nieco głębszym krążeniu wód i ich wypływie wzdłuż strefy dyslokacyjnej. Wynik dla Źródła Stuletniego (26 dni) potwierdza i uwypukla stwierdzenie o dużej wrażliwości wód podziemnych Pienińskiego Parku Narodowego na antropopresję. Zaskoczeniem jest stosunkowo krótki czas obliczony dla źródła pod Wysokim Działem (9,5 miesiąca), zwłaszcza w świetle jego reżimu, który wskazywałby raczej na nieco dłuższe drogi krążenia (Humnicki 2006b).

Oznaczenia izotopowe mają w przypadku źródeł pienińskich charakter pionierski, a uzyskany wiek wód jest orientacyjny. Mimo wysokich kosztów badań, zasadna jest ich kontynuacja.

Uwagi końcowe

Przeprowadzona głównie w oparciu o źródła, szczegółowa charakterystyka warunków hydrogeologicznych Pienin, eksponująca kształtujące je naturalne i antropogeniczne czynniki, powinna przyczynić się do podjęcia działań zmierzających do poprawy skuteczności ochrony przyrody.

Źródła, jeżeli mają dość dużą wydajność, są z reguły ujmowane (obudowywane lub cembrowane), natomiast, jeżeli ich wydajność jest niewielka, ludzie

traktują je jako nikomu niepotrzebne podmokłości, często zasypują lub zaśmiecają. W obu przypadkach ich wartość krajobrazowa jest niszczona. Ochrona źródeł jest konieczna, nie tylko ze względu na hydrologiczne czy hydrogeologiczne aspekty, ale także ze względu na fakt, że źródła są często siedliskami ważnych, a rzadkich gatunków roślin i zwierząt, głównie bezkręgowych.

Na obszarze PPN i jego otuliny występuje duży niedobór wód pitnych przy ogromnym ich zapotrzebowaniu. Powoduje to, że część naturalnych wypływów wód podziemnych jest bezprawnie ujmowana przez miejscową ludność do celów pitnych lub gospodarczych. Tego typu działalność dotyczy przede wszystkim otuliny Parku, lecz odnotowano również przypadki nielegalnego ujmowania źródeł już w obrębie ścisłego obszaru PPN.

Istnieje konieczność prowadzenia działań edukacyjnych na rzecz podniesienia świadomości ekologicznej oraz zwracania mieszkańcom i lokalnym władzom uwagi na rolę naturalnych wypływów wód podziemnych w gospodarowaniu wodą, szczególnie przy opracowywaniu planów zagospodarowania przestrzennego terenu.

Summary

Significance of the study of natural groundwater outflows in recognition of hydrogeologiacal settings in mountainous protected areas on the example of Pieniny Mts.

The detailed hydrogeological studies in the Pieniny National Park were started in the mid 90-ties of the last century. The main aims of these research concerned recognition of geological environment of groundwater occurrence, pathways of their circulation, as well as determination of physical and chemical features, and quality of underground and surface waters in the area of the Pieniny Mts.

In order to recognize hydrogeological settings in this naturally valuable and unique area only selected research methods could be applied, i.e. those which were not conflicted with rules of environment protection. One of the major aims of the studies was to make a thorough survey of natural groundwater outflows in form of springs, spring sappings and swamps. To determine a chemical composition of groundwater drained by springs enabled hydrochemical zoning of the studied area, assessment of groundwater quality and defining sources of anthropogenic hazards.

The modern monitoring network was established within the area of Pieniny National Park. Moreover, the network of spring stationary observations was expanded. The electronic limnimeters with automatic data logging and rain-gauges were installed in a vicinity of the selected springs. Registered data allowed to determine spring sensitivity to water chemistry from atmospheric precipitation and spring thaws.

The results of isotopic studies explained important aspects of groundwater circulation and recharge. Oxygen and hydrogen isotopic compositions of waters indicate that groundwater drained by springs are meteoric origin and belong to a modern hydrologic cycle. The tritium content in groundwater is confirming their short residence time in rock environment and their high sensitivity to anthropopression.

It is expected that the results of these studies contribute to the improvement of environment protection efficiency in the Pieniny Mts area.

Anna Żurek
Zakład Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Akademia Górniczo-Hutnicza
30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30, zurek@geolog.geol.agh.edu.pl

5.4. Ocena wpływu obszarowych ognisk zanieczyszczeń na jakość wód podziemnych na podstawie obserwacji w źródłach[2]

Wprowadzenie

Źródła są przejawem naturalnego drenażu wód podziemnych. Występują w miejscach, gdzie powierzchnia terenu przecina warstwę wodonośną lub statyczne zwierciadło wody podziemnej (Słownik hydrogeologiczny 1997). Obszar kredowej Niecki Miechowskiej, stanowiącej Główny Zbiornik Wód Podziemnych (GZWP 409) (Kleczkowski i in. 1990) (ryc. 5.4.1), jest drenowany przez znaczną liczbę źródeł. Drenaż ten zaznacza się szczególnie w przypadku wód płytkiego, lokalnego krążenia. Bazę drenażu dla głębszego systemu przepływu stanowią rzeki. Na obszarze badań jest to rzeka Dłubnia. Granica zlewni powierzchniowej Dłubni nie pokrywa się z działem wód podziemnych poziomu górnokredowego oraz z zasięgiem GZWP 409. Górny odcinek Dłubni i źródła znajdujące się w zachodniej części zlewni drenują poziom górnojurajski (GZWP 326) (ryc. 5.4.1).

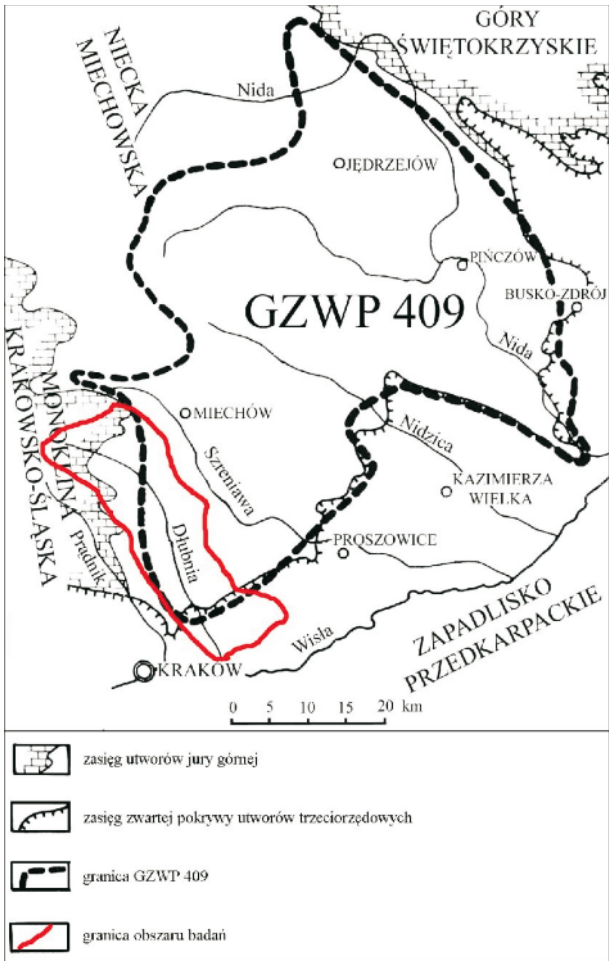
Skład chemiczny wód ze źródeł może stanowić podstawę do oceny tła hydrogeochemicznego wód gruntowych. Te wody podziemne występują najpłycej i pozostają pod bezpośrednim wpływem oddziaływania ognisk zanieczyszczeń. Dotyczy to szczególnie ognisk obszarowych, dostarczających do wód podziemnych największych ładunków zanieczyszczeń, czyli terenów rolniczych, obszarów zabudowanych i imisji z atmosfery.

Metodyka badań

W ramach badań przeprowadzono dwie serie opróbowań (wrzesień 2004 r. i kwiecień 2005) w źródłach zlokalizowanych głównie w północno-zachodniej i środkowej części zlewni Dłubni ze zlewnią cząstkową Minożki (Sulowska 2005). Zachowano numerację źródeł przyjętą przez Dynowską (1983), która scharakteryzowała na tym obszarze 27 źródeł. W trakcie prac terenowych stwierdzono za-

[2] Praca została zrealizowana w ramach prac statutowych Zakładu Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH finansowanych przez Ministerstwo Edukacji i Nauki – umowa 11.11.140.139

nik trzech źródeł (nr 2, 3, 14), stąd badaniami objęto ostatecznie 24 źródła. W terenie wykonano pomiary temperatury, odczynu pH, przewodności elektrolitycznej właściwej oraz wydajności źródeł. Wykonano dokumentację fotograficzną, zwracając szczególną uwagę na zagospodarowanie najbliższego otoczenia źródła, w celu stwierdzenia możliwości zanieczyszczenia bezpośrednio w samym źródle. Dla pobranych prób wykonano analizy chemiczne w laboratorium Zakładu Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH w Krakowie. Wyniki analiz pozwoliły ocenić jakość wód źródlanych. Zastosowano klasyfikację jakości na podstawie Rozporządzenia MŚ z 2004 roku „W sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu wód" (Dz.U.32, poz. 284). Analizując wskaźniki obniżające klasę jakości wód oceniono, że azotany są głównym czynnikiem degradującym jakość wód podziemnych na obszarze badań. W celu określenia trendu zmian jakości, wyniki pomiarów stężeń azotanów w dwóch seriach pomiarowych (wrzesień 2004 r. i kwiecień 2005 r.) porównano z wynikami badań wcześniejszych, z lat: 1999 (Chełmicki 2001) i 2000–2001 (Siwek 2004) zrealizowanych w Instytucie Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ. Podjęto próbę powiązania sposobu zagospodarowania terenu ze stężeniami azotanów w wodzie ze źródeł.



Ryc. 5.4.1. Lokalizacja obszaru badań w stosunku do GZWP 408 – Niecka Miechowska (wg Hejmanowskiego i Kleczkowskiego 1994)
Fig. 5.4.1. Position of the researched area in relation to the Major Groundwater Basin 408 – Miechów Trough (acc. Hejmanowski, Kleczkowski 1994)

Chemizm i jakość wód źródlanych na obszarze badań

Skład chemiczny wód podziemnych pobranych ze źródeł na obszarze badań w obu seriach pomiarowych jest zbliżony. Zmienność zawartości w zakresie jonów głównych przedstawia wzór Kurłowa. W przypadku obserwacji prowadzonych we wrześniu 2004 r. jest on następujący:

$$M^{0,37-0,77}\ \frac{HCO_3^{(64-91)}SO_4^{(3-20)}Cl^{(2-10)}NO_3^{(2-11)}}{Ca^{(69-92)}Mg^{(4-25)}Na^{(2-8)}K^{(1-4)}} \tag{13}$$

W przypadku opróbowania z kwietnia 2005 r. przyjmuje on postać:

$$M^{0,33-0,67}\ \frac{HCO_3^{(54-89)}SO_4^{(4-24)}Cl^{(3-13)}NO_3^{(2-13)}}{Ca^{(69-93)}Mg^{(4-25)}Na^{(1-7)}K^{(0-3)}} \tag{14}$$

Zmienność w zakresie wybranych mikroskładników prezentuje tab. 5.4.1 (seria z października 2004 r.) i tab. 5.4.2 (seria z kwietnia 2005 r.).

Na podstawie wyników analiz chemicznych dokonano klasyfikacji jakości wód ze źródeł (tab. 5.4.3).

Według przyjętych kryteriów klasyfikacji wód przedstawionych w Rozporządzeniu MŚ z 11 lutego 2004 r. (Dz.U.Nr 32, poz.284) ze względu na większość badanych cech fizykochemicznych badane wody były generalnie dobrej (klasa II) bądź bardzo dobrej jakości (klasa I). Jedynie pojedyncze źródła charakteryzowały się III i IV (zadowalającą i niezadowalającą) klasą jakości. Oceniono, że głównym wskaźnikiem obniżającym klasę jakości są azotany (tab. 5.4.3).

Azotany jako główny wskaźnik zanieczyszczenia wód podziemnych

W celu oceny trendu zmian jakości porównano klasy jakości wód względem azotanów w odniesieniu do różnych serii pomiarowych: 1999 rok (Chełmicki 2001), 2001–2002 (Siwek 2004), wrzesień 2004 r., kwiecień 2005 r. (ryc. 5.4.2) i zakresy tła hydrogeochemicznego azotanów dla tych serii (ryc. 5.4.3). Uwzględniono dodatkowo dwie populacje pomiarów: z płytkich studni gospodarskich zlokalizowanych na terenach zabudowanych (Habryń 2002) i głębokich studni ujęciowych (Ludian 1998) zlokalizowanych na obszarze badań. Udział poszczególnych klas jakości względem azotanów nie wykazuje istotnych zmian przez ostatnie kilka lat. Podobnie niewielkie różnice w zakresie tła hydrogeochemicznego świadczą o trwałości i regionalnym charakterze zmian jakości. Za naturalne tło azotanów można uznać zakres dwóch odchyleń standardowych, który w przypadku głębokich studni wynosi: 0,9–15 mg $NO_3 \cdot dm^{-3}$ (ryc. 5.4.3). Zakresy tła w źródłach są generalnie o rząd wielkości wyższe. Tło hydrogeochemiczne

Tabela 5.4.1

Zróżnicowanie stężeń wybranych mikroskładników ($mg \cdot dm^{-3}$) w wodach źródlanych obszaru badań we wrześniu 2004 r.
Minimum, maximum and average values of microelement concentrations ($mg \cdot dm^{-3}$) in spring waters of the researched area – September 2004

Stężenie	Fe	As	B	Cr	Zn	Al	Cd	Mn	Cu	Ni	Pb
min	0	0,00099	0,002	0,00478	0	0,038	0,00003	0	0,00066	0,00004	0,00019
maks	0,095	0,00546	0,101	0,05117	0,0119	2,399	0,000123	0,015	0,00349	0,00501	0,00207
średnie	0,012875	0,003162	0,024208	0,027657	0,00595	0,205208	0,000065	0,003337	0,001484	0,001328	0,001025

Tabela 5.4.2

Zróżnicowanie stężeń wybranych mikroskładników ($mg \cdot dm^{-3}$) w wodach źródlanych obszaru badań w kwietniu 2005 r.
Minimum, maximum and average values of microelement concentrations ($mg \cdot dm^{-3}$) in spring waters of the researched area – April 2005

Stężenie	Fe	As	B	Cr	Zn	Al	Cd	Mn	Cu	Ni	Pb
min	0	0,00064	0,007	0,01328	0	0,058	0,000017	0	0,00011	0	0,00005
maks	0,229	0,00169	0,043	0,02783	0,0126	0,187	0,000059	0,002	0,00054	0,00215	0,00148
średnie	0,010541	0,001195	0,014666	0,018185	0,002687	0,109958	0,000025	0,0011	0,000281	0,001009	0,000193

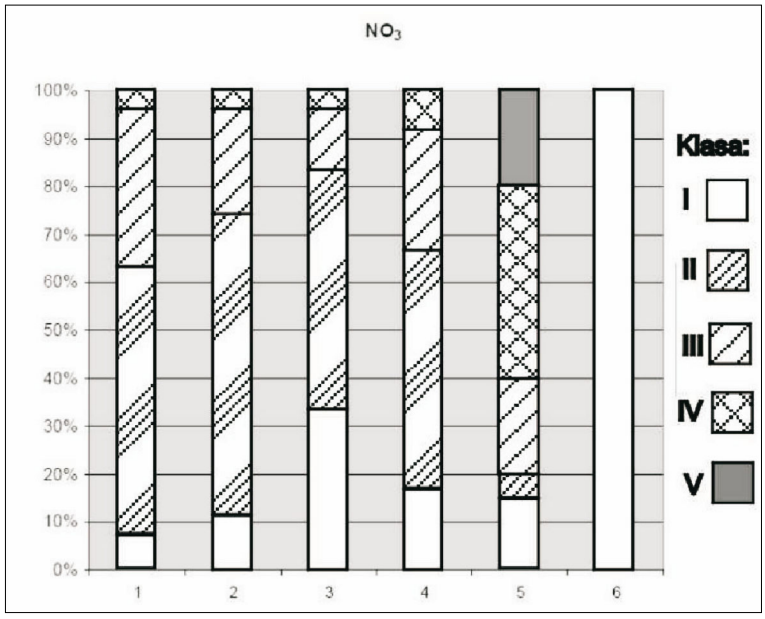
Tabela 5.4.3.

Wynikowe klasy jakości wód badanych źródeł (2 serie pomiarowe)
wg Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 r.
Quality classes of researched spring waters (2 series) according
to the Ministry of Environment Ordinance from the 11th of February 2004

Lp.	Nr źródła	Wynikowa klasa jakości (wskaźnik decydujący o obniżeniu klasy)	
		wrzesień 2004	kwiecień 2005
1	1	IV (Cr)	IV (NO_3)
2	4	IV (Cr)	III (NO_3)
3	5	IV (Cr)	II (NO_3)
4	6	II (PO_4, Ca, Cr, Al)	II (NO_3)
5	7	II (PO_4, Ca, Cr, Al)	II (NO_3)
6	8	I	II (Cr)
7	9	II (NO_3, Cr)	III (NO_3)
8	10	III (NO_3)	III (NO_3)
9	11	IV (NO_3, Cr)	IV (NO_3)
10	12	II (przewodność, PO_4, HCO_3, Ca, Cr, Al)	II (Cr)
11	13	II (NO_3)	II (NO_3, Cr)
12	15	II (NO_3)	II (Cr)
13	16	II (NO_3)	II (NO_3, Cr)
14	17	II (NO_3, Cr)	III (NO_3)
15	18	II (NO_3, Cr)	III (NO_3)
16	19	II (NO_3, Cr)	II (NO_3, Cr)
17	20	II (NO_3, Cr)	II (NO_3, Cr)
18	21	III (NO_3)	III (NO_3)
19	22	II (NO_3, Cr)	II (NO_3, Cr)
20	23	II (NO_3)	II (NO_3, Cr)
21	24	II (NO_3)	II (NO_3, Cr)
22	25	II (NO_3)	II (NO_3, Cr)
23	26	II (przewodność, HCO_3, SO_4, SiO_2, Ca)	II (NO_3, Cr)
24	27	II (HCO_3, SO_4, SiO_2, Ca)	II (Cr)

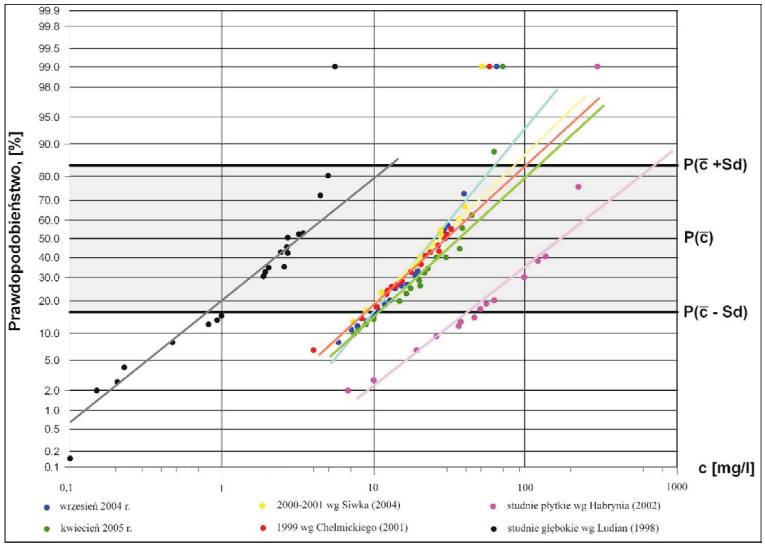
azotanów w zanieczyszczonych wodach z płytkich studni gospodarskich jest kilkakrotnie wyższe niż w źródłach.

Powyższe prawidłowości potwierdza analiza rozkładów częstości stężeń azotanów w seriach pomiarów z września 2004 r. (ryc. 5.4.4), kwietnia 2005 (ryc. 5.4.5), studni głębokich (ryc. 5.4.6) i płytkich studni gospodarskich (ryc. 5.4.7). W przypadku pomiarów z września 2004 r. średnie stężenie azo-



Ryc. 5.4.2. Udział poszczególnych klas jakości względem azotanów w różnych seriach obserwacyjnych: 1 – rok 1999 wg Chełmickiego i in. (2001), 2 – lata 2001–2002 wg Siwka (2004); 3 – wrzesień 2004 r.; 4 – kwiecień 2005 r.; 5 – studnie płytkie wg Habrynia (2002), 6 – studnie głębokie wg Ludian (1998)

Fig. 5.4.2 Percentage of particular water quality classes with respect to nitrates for different observation populations: 1 – 1999 (after Chełmicki *et al.* 2001); 2 – years 2001–2002 (after Siwek 2004); 3 – September 2004: 4 – April 2005; 5 – domestic wells (after Habryń 2002); 6 – intake wells (after Ludian 1998)

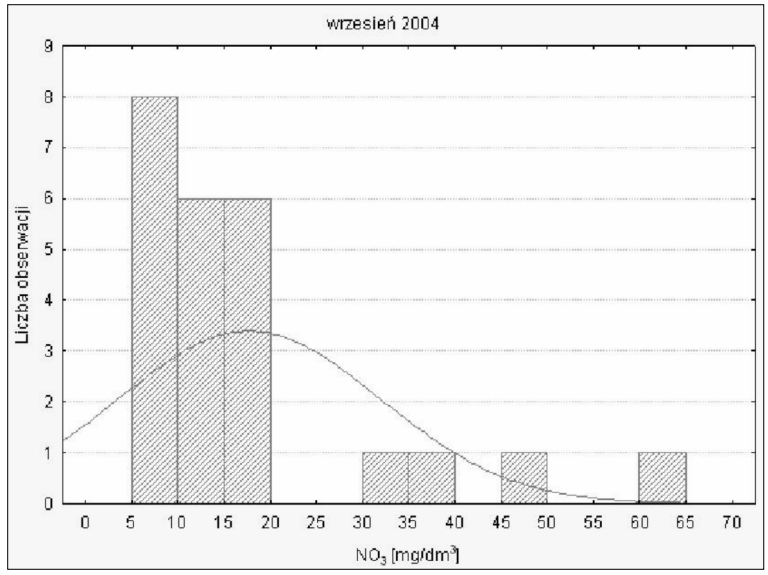


Ryc. 5.4.3 Tło hydrogeochemiczne azotanów w wodach: źródeł, studni gospodarskich i głębokich studni ujęciowych

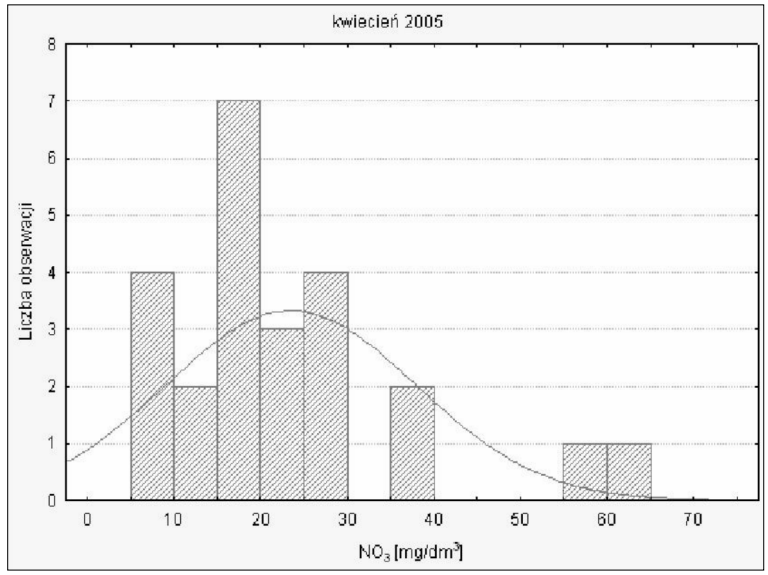
Fig. 5.4.3. Hydrogeochemical background of nitrates in waters: from springs, domestic wells and intake wells

tanów wyniosło 17,6 mg $NO_3 \cdot dm^{-3}$. W serii z kwietnia 2005 r. było nieznacznie wyższe i wyniosło 23,4 mg $NO_3 \cdot dm^{-3}$. Średnie stężenia azotanów w wodzie ze źródeł obszaru badań w okresie od 1999 do 2005 roku nie zmieniało się w znaczący sposób i oscylowało wokół wartości 20 mg$NO_3 \cdot dm^{-3}$.

Zdecydowanie wyższe stężenia azotanów na obszarze badań zanotowano w studniach gospodarczych, kopanych o głębokości średnio od 4 do 17 m (ryc. 5.4.7). W 20 próbach stężenia mieściły się w przedziale od 7 do 350 mg $NO_3 \cdot dm^{-3}$, a ich średnia wyniosła 76,4 mg $NO_3 \cdot dm^{-3}$ (Habryń 2002). Stężenia azotanów aż w 12 studniach przekroczyły wartości dopuszczalne dla wód pitnych (50 mg $NO_3 \cdot dm^{-3}$).



Ryc. 5.4.4. Rozkład częstości stężeń azotanów w wodach ze źródeł – wrzesień 2004 r.
Fig. 5.4.4. Histogram of nitrate concentrations in spring waters – September 2004

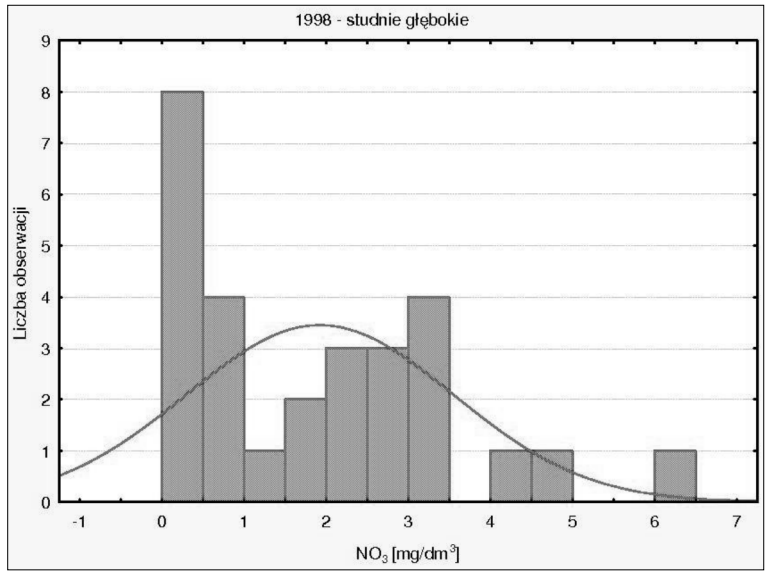


Ryc. 5.4.5. Rozkład częstości stężeń azotanów w wodach ze źródeł – kwiecień 2005 r.
Fig. 5.4.5. Histogram of nitrate concentrations in spring waters – April 2005

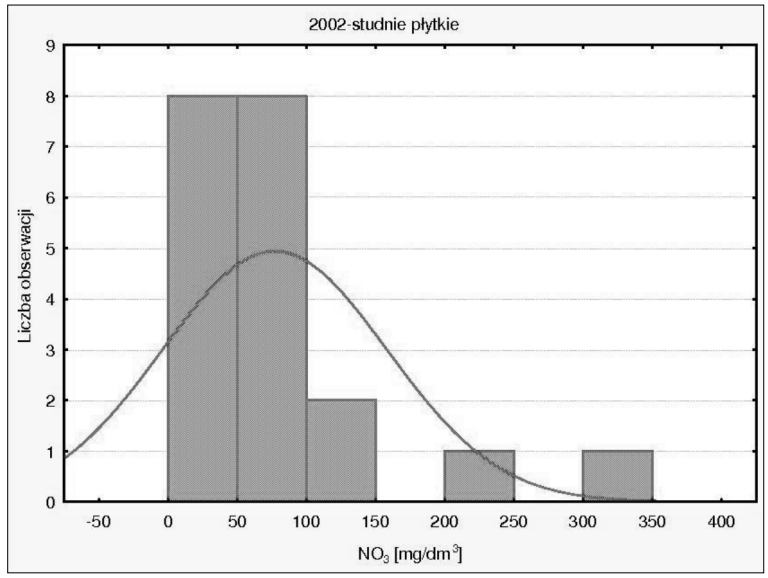
W 28 głębokich studniach górnokredowych o głębokościach od 12 do 336 m (Ludian 1998) stężenia azotanów były bardzo małe i zawierały się w przedziale 0,05–6,5 mg $NO_3 \cdot dm^{-3}$. Największa liczba obserwacji występuje w przedziale 0–0,5 mg $NO_3 \cdot dm^{-3}$ (ryc. 5.4.6). Średnie stężenie azotanów wyniosło 1,9 mg $NO_3 \cdot dm^{-3}$.

Zagospodarowanie terenu a rozkład przestrzenny azotanów w wodach ze źródeł

W celu powiązania zawartości azotanów w wodach ze źródeł z charakterem zagospodarowania terenu przeanalizowano rozkład przestrzenny stężeń NO_3 z czterech serii pomiarowych: 1999 rok (ryc. 5.4.8); lata 2000–2001 (ryc. 5.4.9); wrzesień 2004 r. (ryc. 5.4.10); kwiecień 2005 r. (ryc. 5.4.11).



Ryc. 5.4.6. Rozkład częstości stężeń azotanów w wodach z głębokich studni ujściowych (wg Ludian 1998).
Fig. 5.4.6. Histogram of nitrate concentrations in waters from intake wells (after Ludian1998).

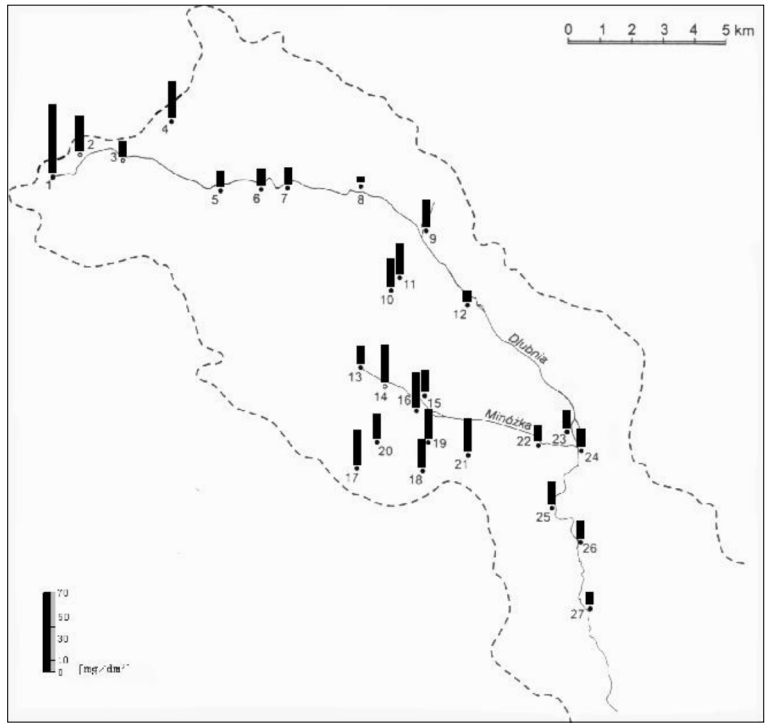


Ryc. 5.4.7. Rozkład częstości stężeń azotanów w wodach ze studni gospodarskich (wg Habrynia 2002)
Fig. 5.4.7. Histogram of nitrate concentrations in waters from domestic wells (after Habryń 2002)

Podwyższone stężenia azotanów zanotowano na obszarach zabudowanych, gdzie następuje nagromadzenie punktowych ognisk zanieczyszczeń w postaci

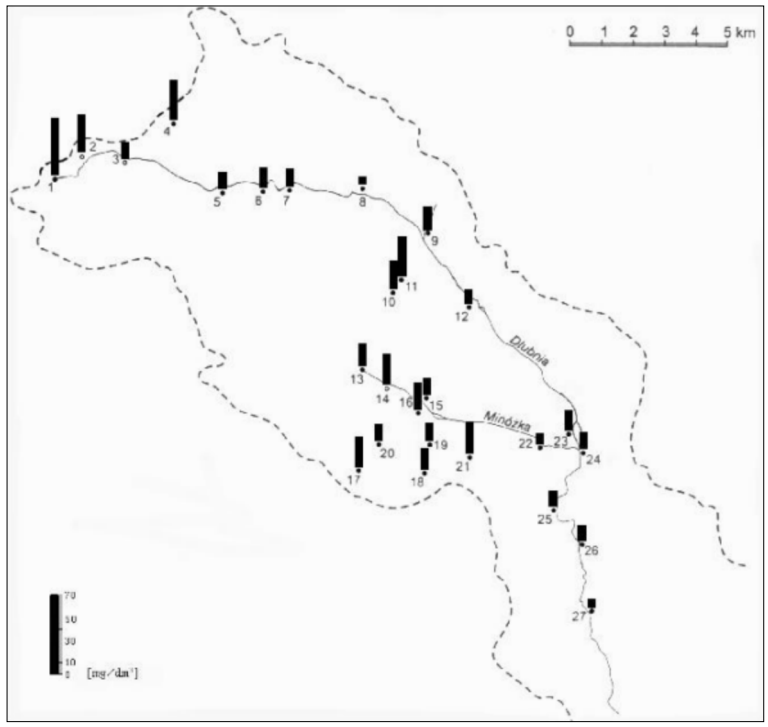
nieszczelnych szamb, gnojowników, dołów kloacznych, dzikich wysypisk śmieci. Miejscowości na obszarze badań są w większości wyposażone w wodociągi, ale pozbawione sieci kanalizacyjnej. Ma miejsce zrzut ścieków do rzeki, bezpośrednio do ziemi lub w najgorszym przypadku do nieczynnych studni gospodarskich. Prowadzi to do przenikania zanieczyszczeń bytowo-gospodarczych do wód gruntowych. Podwyższone zawartości azotanów w źródle 11 (ryc. 5.4.10, 5.4.11), zlokalizowanym na terenie zabudowanym, kwalifikują wodę do IV klasy jakości i świadczą o istotnej roli punktowych ognisk zanieczyszczeń. Obserwacje w studniach kopanych na obszarze badań, gdzie stężenia azotanów dochodziły do 325 mg $NO_3 \cdot dm^{-3}$, potwierdzają istotny wpływ lokalnych ognisk zanieczyszczenia na jakość płytkich wód podziemnych (Habryń 2002).

Obszar zlewni Dłubni w przeważającej części ma charakter rolniczy. Dominują tutaj pola uprawne i łąki. Efektem takiego użytkowania terenu są podwyższone stężenia azotanów w wodach źródeł drenujących obszary zagospodarowane rolniczo. Porównując stężenia azotanów w tych źródłach w latach 1999–2005 (ryc. 5.4.8–11) stwierdzono, że utrzymują się one na stałym, prawie niezmiennym poziomie wynoszącym średnio 20 mg $NO_3 \cdot dm^{-3}$. Świadczy to o trwałym i powszechnym zanieczyszczeniu badanego terenu azotanami. Podwyższone zawartości azotanów są prawdopodobnie wynikiem nawożenia. Uzyskane średnie stężenie azotanów w wodach źródlanych odpowiada średniemu szacunkowemu stężeniu azotanów w wodzie infiltrującej do wód gruntowych, obliczonemu dla uśrednionej dawki nawozowej azotu wynoszącej 32,6 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ w województwie małopolskim (Habryń 2002). Potwierdza to rolnicze pochodzenie azotanów w wodach podziemnych.



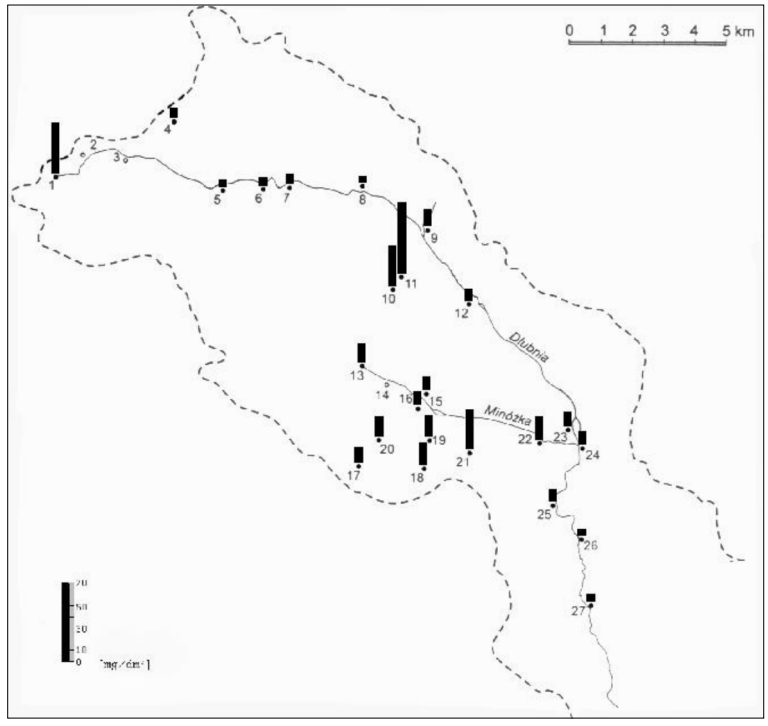
Ryc. 5.4.8. Stężenia azotanów w wodach ze źródeł – rok 1999 (wg Chełmicki 2001)
Fig. 5.4.8. Nitrate concentrations in spring waters – 1999 (after Chełmicki 2001)

Obszary leśne stanowią tylko 8% powierzchni zlewni. Jedynie w przypadku pięciu źródeł można uznać, że ich obszary zasilania znajdują się częściowo na terenach leśnych. Źródła te charakteryzują się najniższymi zawartościami azotanów. Potwierdza to wodochronną rolę lasów w przypadku zanieczyszczenia azotanami.



Ryc. 5.4.9. Stężenia azotanów w wodach ze źródeł – lata 2000–2001 (wg Siwka 2004)

Fig. 5.4.9. Nitrate concentrations in spring waters – years 2000–2001 (after Siwek 2004)

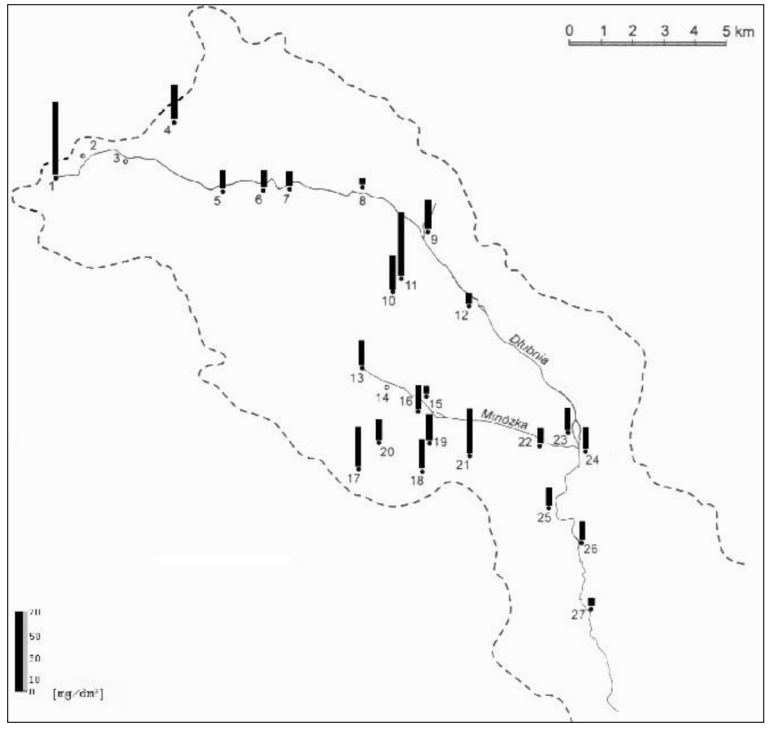


Ryc. 5.4.10. Stężenia azotanów w wodach ze źródeł – wrzesień 2004 r.

Fig. 5.4.10. Nitrate concentrations in spring waters – September 2004

Lepszej identyfikacji ognisk zanieczyszczeń azotanami można dokonać wykorzystując metody izotopowe, analizujące skład izotopowy tlenu i azotu w azotanach w powiązaniu z oceną wieku wody (Różański, Żurek 2001).

Największe stężenie azotanów stwierdzono w źródle 1 (ryc. 5.4.8–11), które jest zasilane z jurajskiego zbiornika szczelinowo-krasowego. Zbiornik ten jest bardziej podatny na zanieczyszczenia niż zbiornik kredowy ze względu na gęstą sieć spękań, szczelin i kanałów krasowych, którymi woda wraz z zanieczyszczeniami może szybko migrować. Źródło 1 położone jest w bezpośrednim otoczeniu użytków rolnych, co pozwala sądzić, że zanieczyszczenie azotanami jest efektem działalności rolniczej. Źródła zasilane ze zbiornika kredowego są mniej narażone na zanieczyszczenia ze względu na szczelinowo-porowy charakter tego zbiornika i wolniejsze tempo migracji wód systemem drobnych szczelin. Środowisko geologiczne zbiornika kredowego sprzyja znacznym opóźnieniom migracji zanieczyszczeń. Wody głębszego krążenia, reprezentowane przez głębokie studnie ujęciowe, są wodami o zdecydowanie lepszej jakości niż wody w źródłach, drenujących lokalne systemy krążenia. Zawartość azotanów w wodach z głębokich ujęć jest znikoma i świadczy prawdopodobnie o tym, że zanieczyszczenia nie dotarły jeszcze do wód głębszego systemu krążenia. Długie czasy migracji pionowej przez strefę aeracji zbiornika kredowego potwierdzają badania (Hejmanowski, Kleczkowski 1994).



Ryc. 5.4.11. Stężenia azotanów w wodach ze źródeł – kwiecień 2005 r.
Fig. 5.4.11 Nitrate concentrations in spring waters – April 2005

Wnioski

Źródła w zlewni Dłubni stanowią dobrą sieć obserwacyjną stanu wód podziemnych płytkich, lokalnych systemów krążenia. Zaznacza się w nich wpływ charakteru zagospodarowania terenu, czyli obszarowych ognisk zanieczyszczeń.

Źródła drenujące obszary rolnicze wykazują trwały i podwyższony poziom zawartości azotanów. Najwyższe stężenia azotanów zanotowano w źródle na terenie zabudowanym, a najniższe − w źródłach zlokalizowanych na obszarach leśnych. Potwierdza to wodochronną rolę lasów w przypadku zanieczyszczenia azotanami.

Środowisko geologiczne zbiornika kredowego sprzyja znacznym opóźnieniom migracji zanieczyszczeń. Wody głębszego krążenia mają zdecydowanie lepszą jakość, co świadczyć może o tym, że zanieczyszczenia jeszcze do nich nie dotarły.

Dla lepszej oceny genezy azotanów w źródłach należy wykorzystać metody izotopowe, analizujące skład izotopowy azotu i tlenu w azotanach.

Summary

Assessment of the impact of diffuse sources onto groundwater quality on the base of spring observations

Springs of the Dłubnia catchment are good monitoring network of quality of groundwater circulating in a local system. Chemical composition of spring waters represents groundwater quality and influence of the diffuse pollution sources. The main problem with a spring water quality in the the Dłubnia catchment are nitrates. In this chapter the effects of two series of the field measurements (September 2004 and April 2005) in 24 springs are presented. The research effects are compared with the earlier studies realized by Chełmicki and others (2001) and Siwek (2004). The worst quality water occurs in the urban area. In the most of springs the impact of agricultural activity is observed. The average nitrate concentration is near 20 mg $NO_3 \cdot dm^{-3}$. The forest areas have protective impact onto groundwater quality.

Wojciech Smolarek
Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej Obszarów Urbanizowanych, Uniwersytet Śląski
41-200 Sosnowiec, ul. Będzińska 60, smoliczek@o2.pl

5.5. Charakterystyka hydrologiczna wywierzyska w Strzemieszycach Wielkich na Wyżynie Śląskiej oraz propozycja ochrony jego wód

Wprowadzenie

Na Wyżynie Śląskiej, największą liczbą naturalnych wypływów wód podziemnych odznacza się północna jej część – Garb Tarnogórski, który stanowi rozczłonkowaną płytę wapienia muszlowego (trias środkowy), z udziałem dolomitów kruszconośnych. Jednym z ciekawszych i zarazem cenniejszych pod względem przyrodniczym źródeł w tym mezoregionie, jest wywierzysko w Strzemieszycach Wielkich (dzielnica Dąbrowy Górniczej). Źródło te należy do najbardziej wydajnych na obszarze całej Wyżyny (przeciętnie ok. 50 $dm^3 \cdot s^{-1}$). Wypływa na wysokości 290 m n.p.m., w bezpośrednim sąsiedztwie Huty Katowice oraz drogi szybkiego ruchu łączącej Śląsk z Krakowem (ryc. 5.5.1).



Ryc. 5.5.1. Lokalizacja badanego wywierzyska
Fig. 5.5.1. Position of the researched karst spring

Wywierzysko w Strzemieszycach Wielkich jest już jednym z niewielu miejsc na Wyżynie Śląskiej, gdzie zachowała się dość bogata fauna źródliskowa. Najważniejsi jej przedstawiciele to: wypławek kątogłowy, źródlarka karpacka, kiełż zdrojowy oraz pstrąg potokowy, który ma tu naturalne tarlisko, co w warunkach Wyżyny Śląskiej jest ewenementem (Celiński i in. 2003). Ze względu m.in. na wspomniane wyżej walory przyrodnicze badanego wywierzyska, obiekt ten, w maju 1996 r., uchwałą Rady Miejskiej w Dąbrowie Górniczej uznany został za pomnik przyrody – „Wywierzyska w Strzemieszycach Wielkich" (fot. 5.5.1).

Bezpośrednie otoczenie miejsca wypływu wody z wywierzyska zostało w znacznym stopniu przekształcone poprzez regulację dwóch stawów, zasilanych wodami źródlanymi oraz budowę alejek parkowych. Warto wspomnieć, iż w XIX w. przy wywierzysku funkcjonowała tzw. „Płuczka Strzemieska", czyli zakład wzbogacania wydobywanych w pobliżu rud cynku i ołowiu, działający do ok. 1893 r. (Rybak 2002).

Celem podjętych badań jest identyfikacja i ocena wpływu różnych ognisk zanieczyszczeń, w aspekcie jakości wody źródlanej i w odniesieniu do zagrożenia stanu sanitarnego wywierzyska w Strzemieszycach Wielkich. Zarysowano również koncepcję ochrony wywierzyska i jego wód oraz nakreślono zbiór działań niezbędnych do jej realizacji.

Metody badań

Próby wody do większości oznaczeń laboratoryjnych pobrane zostały osiem razy w ciągu całego roku hydrologicznego 2004 (dwukrotnie podczas każdej pory roku). W terenie wykonywano pomiary: temperatury, przewodności właściwej i odczynu wody (pH). W czasie poboru prób, przeprowadzano również pomiary wydajności wywierzyska metodą młynka hydrometrycznego.

Oznaczenia stężeń jonów: Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, HCO_3^{-}, SO_4^{2-}, Cl^{-}, NO_3^{-}, PO_4^{3-} oraz krzemionki (SiO_2) i twardości ogólnej (TOG) wykonano według powszechnie stosowanych metod (m.in. Krawczyk 1999) w Laboratorium Naukowo-Dydaktycznym Katedr Geograficznych Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego w Sosnowcu. Stężenia wybranych metali ciężkich (Zn^{2+}, Pb^{2+}, Cu^{2+}, Mn^{2+}, Cd^{2+}, Ni^{2+}, Fe og.) zostały zbadane w Pracowni AAS Katedry Geochemii, Mineralogii i Petrografii WNoZ UŚ. Badania mikrobiologiczne (oznaczenie bakterii grupy coli) wykonano w laboratorium Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Dąbrowie Górniczej.

Każdorazowo, w czasie badań terenowych, dokonywano oceny otoczenia wywierzyska pod kątem potencjalnych zagrożeń jakości wody. Szczególną uwagę zwracano na jego stan sanitarny. Ponadto, ocenie podlegały także walory

przyrodnicze i krajobrazowe badanego obiektu. Sporządzono również dokumentację fotograficzną.

Charakterystyka badanego wywierzyska

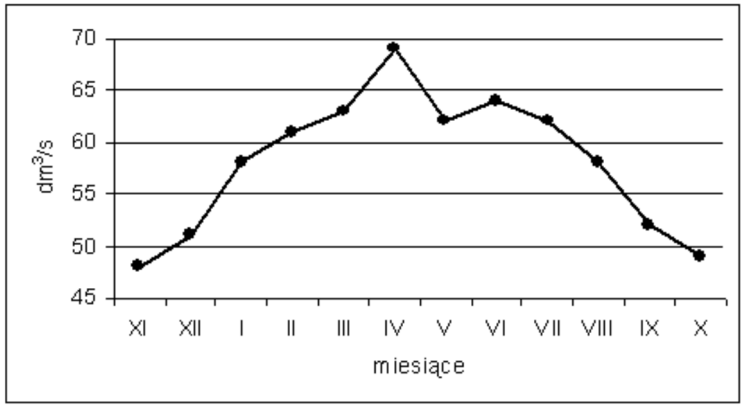
W świetle regionalizacji hydrogeologicznej badane wywierzysko znajduje się w obrębie regionu bytomsko-olkuskiego. Drenuje ono szczelinowo-krasowy poziom wodonośny, występujący w utworach triasu. Strzemieszyckie wywierzysko znajduje się poza bezpośrednim zasięgiem leja depresji powstałego wskutek odwadniania kopalń węgla kamiennego w Zagłębiu Dąbrowskim oraz kopalń rud cynku i ołowiu w rejonie Olkusza (Mapa hydrogeologiczna … 1985). Średnia wydajność wypływu kwalifikuje je do klasy IV według Meinzera, zaś na podstawie wskaźnika zmienności wieloletniej Maillete`a należy je określić jako zmienne (Pazdro, Kozerski 1990). W sposobie użytkowania terenu na obszarze zasilania wywierzyska dominują użytki rolne, a także tereny zabudowane (tab. 5.5.1).

Tabela 5.5.1

Charakterystyka badanego wywierzyska
Characteristics of the researched karst spring

Klasa wydajności (wg Meinzera)	Średnia wydajność (2004 r.)	Wskaźnik zmienności wieloletniej Maillete'a	Użytkowanie terenu w sąsiedztwie obiektu	Warstwa wodonośna
klasa IV ($10–100\ dm^3 \cdot s^{-1}$)	ok. $60\ dm^3 \cdot s^{-1}$	wypływ zmienny ($10<R<50$)	użytki rolne teren zabudowany	TRIAS (wapienie i dolomity)

W latach hydrologicznych 1963–1991 wydajność wywierzyska, w odstępach mniej więcej miesięcznych, kontrolował Oddział IMGW w Katowicach. Z prawie 30-letniej serii pomiarowej wynika, że jego reżim hydrologiczny określić można jako śnieżno-deszczowy. Maksymalne wydajności notowane są w okresie roztopów, najczęściej w kwietniu (maksimum roztopowe). Drugorzędne maksimum przypada na miesiące letnie, najczęściej w czerwcu (maksimum deszczowe) (ryc. 5.5.2). Wybrane charakterystyki wydajności wywierzyska z okresu 1963–1991 zestawiono w tabeli 5.5.2.



Ryc. 5.5.2. Wydajność wywierzyska w latach 1963–1991 (na podstawie danych IMGW oddz. Katowice)
Fig. 5.5.2. Yield of the karst spring in years 1963–1991 (based on data by the Katowice IMGW – Institute of Meteorology and Water Management)

Tabela 5.5.2

Wybrane charakterystyki wydajności wywierzyska z lat hydrologicznych 1963–1991
Selected yield characteristics of the karst spring in hydrological years 1963–1991

Średnia roczna wydajność	57 $dm^3 \cdot s^{-1}$
Maksymalna średnia roczna wydajność	102 $dm^3 \cdot s^{-1}$ (1982)
Minimalna średnia roczna wydajność	27 $dm^3 \cdot s^{-1}$ (1973)
Wydajność maksymalna	162 $dm^3 \cdot s^{-1}$ (II. 1967)
Wydajność minimalna	10 $dm^3 \cdot s^{-1}$ (II. 1969)

Źródło: na podstawie danych IMGW oddz. Katowice
Source: based on data by the Katowice Institute IMGW

Ocena chemizmu i jakości wód źródlanych

W okresie prowadzenia badań, w wywierzysku w Strzemieszycach Wielkich rozpoznano dwa typy hydrochemiczne wód, wydzielone według zmodyfikowanej klasyfikacji Altowskiego-Szwieca (Macioszczyk 1987). Przez większą część roku dominował typ czterojonowy: HCO_3SO_4–CaMg, natomiast na wiosnę, w okresie roztopów, pojawiła się woda pięciojonowa: HCO_3SO_4Cl–CaMg. Obecność chlorków związana była z przedostaniem się do wód podziemnych większych ilości soli zawierających te jony, wykorzystywanych zimą do posypywania dróg w celu przeciwdziałania gołoledzi. W pobliżu wypływu przebiega bowiem fragment trasy szybkiego ruchu E40. Wybrane właściwości fizykochemiczne wody wywierzyska zestawione zostały w tab. 5.5.3 i 5.5.4.

Tabela 5.5.3

Wybrane właściwości fizykochemiczne wód badanego wywierzyska
(wartości średnie w roku hydrologicznym 2004)
Selected physico-chemical features of waters of the researched karst spring
(average values in the hydrological year 2004)

	T	SEC	pH	ChZT	TOG	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	Cl^{-}	NO_3^{-}	PO_4^{3-}	SiO_2
	°C	µS·cm^{-1}		mg·dm^{-3} O_2	mg·dm^{-3} $CaCO_3$	mg·dm^{-3}									
Min.	9,4	795	7,2	1,2	342,8	95,2	25,5	8,6	1,0	305,1	91,4	34,5	26,4	0,00	7,4
Śr.	9,7	817	7,3	1,5	403,5	103,1	35,5	13,5	1,8	306,1	101,8	45,4	37,2	0,09	7,8
Max.	9,9	848	7,5	2,0	447,9	112,2	45,6	16,0	2,4	312,7	117,0	70,0	46,2	0,20	8,0

Zgodnie z klasyfikacją przyjętą przez PIOŚ (Klasyfikacja zwykłych … 1993), skorygowaną w 1995 r. (Wskazówki metodyczne … 1995), wodę z badanego wypływu należy zaliczyć do klasy Ib, ze względu m.in. na podwyższone zawartości azotanów i fosforanów. Okresowo występuje również zanieczyszczenie bakteriologiczne, dlatego woda z wywierzyska nie powinna być wykorzystywana przez ludność do celów spożywczych bez wcześniejszego uzdatnienia.

Tabela 5.5.4

Stężenia wybranych metali ciężkich w wodzie badanego wywierzyska [mg·dm^{-3}]
(średnie w roku hydrologicznym 2004)
Concentrations of selected heavy metals in the researched karst spring water [mg·dm^{-3}]
(average values in the hydrological year 2004)

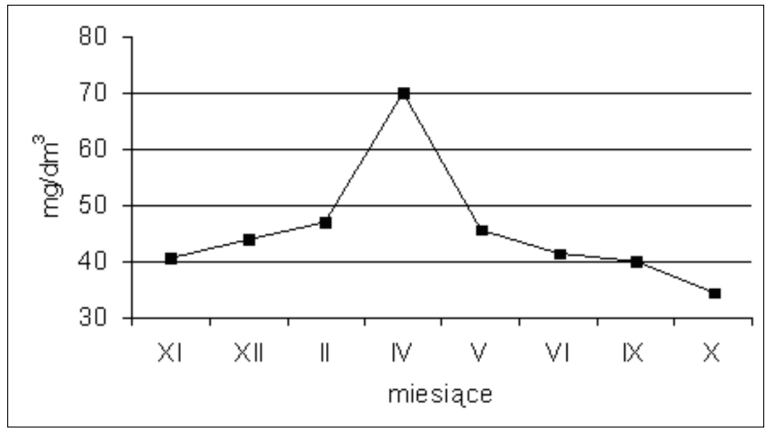
Pb^{2+}	Zn^{2+}	Cu^{2+}	Ni^{2+}	Cd^{2+}	Mn^{2+}	Fe og.	suma
0,015	0,072	0,014	0,002	0,001	0,009	0,015	0,128

W okresie wiosennych roztopów istnieje również możliwość zwiększenia stężeń azotanów. Wraz z wiosennymi roztopami, w sposób niemal jednorazowy, do wód podziemnych dociera skondensowana dawka zanieczyszczeń, zatrzymywanych zimą w warstwie śniegu. Natomiast w sezonie letnim, a więc w okresie intensywnej wegetacji, obserwuje się obniżenie stężenia wielu jonów. Podobne zjawisko zostało potwierdzone i opisane w odniesieniu do źródeł na terenie pobliskiej Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej (Krawczyk i in. 1990).

Główne zagrożenia wód źródlanych oraz propozycja ich ochrony

Najpoważniejszym zagrożeniem jakości wód badanego wywierzyska są liczne ogniska zanieczyszczeń na obszarze nieskanalizowanej zabudowy oraz zanieczyszczenia opadów atmosferycznych, z których, jak wskazują badania, pochodzą znaczne ilości azotanów i siarczanów (Leśniok 1996). Ze względu na to, iż proces poprawy jakości środowiska na obszarze Górnego Śląska, związany ze spadkiem emisji zanieczyszczeń przemysłowych, zachodzi bardzo powoli, należy zwrócić szczególną uwagę na możliwość ograniczenia lokalnych, często groźniejszych czynników degradacji wywierzyska. Najlepszym zmierzającym ku temu działaniem byłaby budowa kanalizacji sanitarnej na terenach zurbanizowanych położonych w strefie jego zasilania.

Innym, nie mniej istotnym, ogniskiem zanieczyszczeń wód wywierzyska jest transport kołowy na pobliskiej trasie szybkiego ruchu. Jak wspomniano już wcześniej, w okresie roztopów przyczynia się on do wzrostu zawartości chlorków w wodach źródlanych (ryc. 5.5.3). Do wód podziemnych przenika także wiele innych szkodliwych substancji organicznych: paliwa, smary, oleje, pozostałości środków czyszczących, środki konserwujące itp.

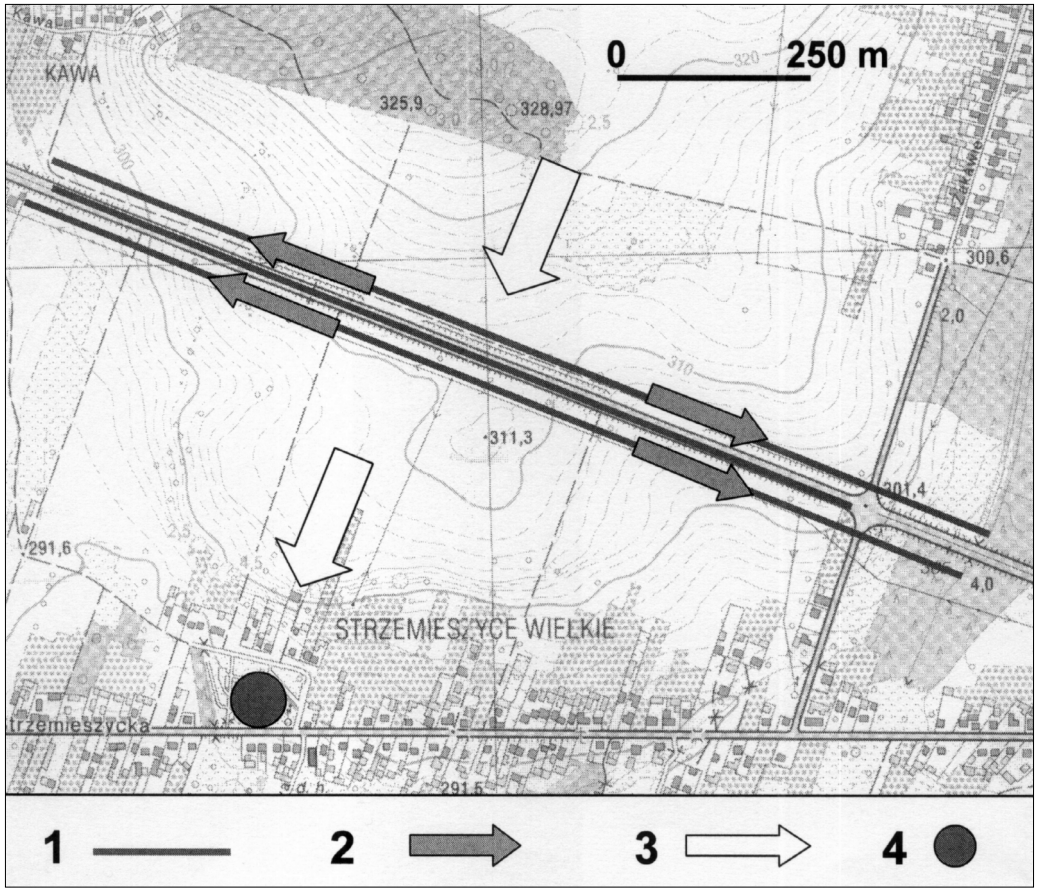


Ryc. 5.5.3. Przebieg zawartości chlorków w wodach badanego wywierzyska
Fig. 5.5.3. Course of chloride content in water of the researched karst spring

Na terenie pomnika przyrody „Wywierzyska w Strzemieszycach Wielkich" ochronie podlega sama nisza z jej najbliższym otoczeniem, ale już na obszarze zlewni podziemnej wywierzyska nie obowiązują żadne szczególne ograniczenia w gospodarce wodno-ściekowej. Z punktu widzenia ochrony jakości wód, najkorzystniejsze byłoby utworzenie strefy ochronnej w bezpośrednim otoczeniu wywierzyska, wytyczonej z uwzględnieniem obszaru zasilania źródlisk wodami podziemnymi.

Szansą na ochronę wód wywierzyska jest też wykopanie rowów wzdłuż przebiegającej w pobliżu trasy szybkiego ruchu oraz ich uszczelnienie (np. wybetonowanie, wyłożenie folią). Ponieważ droga ta przebiega na wzniesieniu, po-

wyżej wypływu wody, takie rozwiązanie umożliwi grawitacyjny odpływ zanieczyszczonych wód, spływających z pasa drogowego, poza obszar zasilania źródeł (ryc. 5.5.4).



Ryc. 5.5.4. Propozycja sposobu ochrony wód wywierzyska
1 – betonowe rowy odwadniające, 2 – wymuszony kierunek spływu wód z powierzchni jezdni, 3 – kierunek spływu wód podziemnych, 4 – wywierzysko
Fig. 5.5.4. Suggestions about the protection methods of the karst spring waters
1 – concrete draining ditches, 2 – forced run-off direction from the road surface, 3 − direction of run-off of groundwater, 4 – karst spring

Za szczególną ochroną strzemieszyckiego wywierzyska przemawiają jego wyjątkowe walory przyrodnicze, a także stosunkowo dobra jakość wód oraz duża wydajność. W przyszłości można rozważyć ujęcie wody z wypływu, poprzez sieć wodociągową i zaopatrywanie nią ludności, pod warunkiem wszakże, iż działania przystosowawcze nie zakłócą jego naturalnego reżimu i nie będą miały negatywnych skutków krajobrazowych.

Summary

Hydrological characteristics of the Strzemieszyce Wielkie karst spring and suggestions about their water protection

Karst spring in Strzemieszyce Wielkie, located in the Dąbrowa Górnicza region (Upper Silesia), are interesting and valuable enough from an environmental point of view to be presented in this chapter. Spring which average discharge is about 50 $dm^3 \cdot s^{-1}$ are the largest ones in the Upper Silesia. Since 1966, the area of the spring has been protected as the nature monument "Karst springs in Strzemieszyce Wielkie" (phot. 5.5.1).

The results of hydrochemical and bacteriological water analyses (tab. 5.5.3, 5.5.4) carried out in the hydrological year 2004 show that water quality is mainly related to the lithology of the rock formations of the aquifer as well as to anthropogenic influences.

Two hydrochemical types of water (Altowski-Szwiec method) were distinguished during the research. Four-ionic type HCO_3SO_4–CaMg was dominating and five-ionic type HCO_3SO_4Cl–CaMg was appearing only during spring thaws. Presence of chlorides in the hydrochemical composition was due to groundwater being influenced by larger amounts of salts used for reducing snow cover on roads. That is because a section of the expressway between Silesia and Kraków runs in a vicinity of the karst spring.

According to the classification adopted by the State Inspectorate of Environmental Protection (PIOŚ), the karst spring water in Strzemieszyce Wielkie should be classified as the Ib class, due to increased concentrations of nitrates and phosphates, among other factors.

Due to possible increase of nitrate concentrations (spring thaws) and periodical bacteriological contamination water of the karst spring should not be used for consumption without previous treatment.

It is highly possible that the quality of spring waters in Strzemieszyce will be greatly worsened in the nearest future what will be resulted from the ongoing construction of the sewage system in the area of the city. One of the suggested methods of protection of water in the researched karst spring is to build along the closely running across expressway concrete draining ditches. It should be done seeing that the road is situated on the elevation above the water run-off level what will allow for gravitational run-off of contaminated waters from the road outside of water supplying area of the spring (fig. 5.5.3).

Maria Baścik
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński
30-387 Kraków, ul. Gronostajowa 7, m.bascik@geo.uj.edu.pl

Jan Urban
Instytut Ochrony Przyrody, Polska Akademia Nauk
31-120 Kraków, al. A. Mickiewicza 33, urban@iop.krakow.pl

5.6. Konserwatorska ochrona źródeł w Polsce

Wstęp

Konserwatorska ochrona przyrody oparta jest o motywacje inne niż ekonomiczne oraz bezpośrednio związane z ochroną warunków życia człowieka. Podstawową jej motywację stanowią przesłanki estetyczno-kulturowe, przyrodnicze, uznające, że każdy element przyrody jest integralną i niezbędną jej częścią, a także przesłanki naukowe i edukacyjne. Zgodnie z filozofią tej ochrony przyroda jest dziedzictwem, które przejęliśmy i które powinniśmy przekazać nieuszczuplone następnym pokoleniom.

Podstawowe zasady ochrony konserwatorskiej określa w Polsce „Ustawa o ochronie przyrody", której ostatnia wersja została uchwalona 16 kwietnia 2004 r. W przypadku źródeł jest to jednocześnie jedyny akt prawny tej rangi dotyczący ochrony konserwatorskiej, bowiem Prawo wodne z dnia 18 lipca 2001 r. używa terminu „źródło" jedynie na określenie punktu początkowego cieku naturalnego, natomiast w kontekście ochrony używa wyłącznie terminu „ujęcia wód", wprowadzając dla ujęć tzw. strefy ochronne, ze względu na ich znaczenie gospodarcze.

Źródła – naturalne, skoncentrowane wypływy wody podziemnej na powierzchnię – są niezwykłym zjawiskiem hydrologicznym, będącym jednym ze świadectw krążenia wody w przyrodzie. Różnorodność form wypływu, utworów wodonośnych, wielkość i zmienność wydajności, a także roślinność w sąsiedztwie wypływu sprawiają, że stanowią one atrakcyjny, dynamiczny element krajobrazu. Ze względu na specyficzne warunki siedliskowe bywa, że źródła są ostoją gatunków o charakterze reliktowym. Naukowe, poznawcze, edukacyjne i krajobrazowe walory źródeł oraz ich znaczenie przyrodnicze, gospodarcze i kulturowe, są coraz lepiej i powszechniej dostrzegane, co sprawia, że w coraz

większym stopniu jest uświadamiana potrzeba ochrony prawnej przynajmniej niektórych z nich. Konieczność zachowania tych obiektów w stanie możliwie naturalnym i niezaburzonym, jest powodowana nasilającym się ich zagrożeniem przez działalność gospodarczą oraz proces ujmowania i obudowywania źródeł, co niejednokrotnie prowadzi do bezpowrotnego ich niszczenia.

Badania źródeł dostarczają naukowych argumentów do uznania najcenniejszych z nich za obiekty godne indywidualnej ochrony. W porównaniu z innymi elementami przyrody, indywidualnie chronionych źródeł jest bardzo niewiele, dlatego w opracowaniach dotyczących ochrony w ogóle nie wyodrębnia się dla nich oddzielnej kategorii, a znajdują się w grupie „inne". Niniejsze opracowanie powstało na podstawie materiałów zebranych od Wojewódzkich Konserwatorów Przyrody na potrzeby mapy ochrony georóżnorodności (Alexandrowicz i in., w druku).

Ochrona źródeł w świetle przepisów prawa

Ochrona źródeł wynika z zasad racjonalnego gospodarowania zasobami przyrody nieożywionej, które zakładają oszczędne użytkowanie przestrzeni oraz zachowanie szczególnie cennych jej tworów (art. 121.1). Wśród form ochrony wprowadzanych Ustawą źródła pojawiają się przede wszystkim jako potencjalne pomniki przyrody (art. 40.1), jednak ochronę wód i stosunków wodnych w różnym stopniu przewidują także przepisy ochronne wprowadzane w innych kategoriach indywidualnej oraz obszarowej ochrony przyrody.

Na terenach podlegających obszarowej ochronie przyrody istnieje generalnie zakaz zmiany stosunków wodnych oraz przekształcania rzeźby terenu. Można jednak praktycznie uznać, że ochrona ta – jedynie w przypadku parków narodowych i rezerwatów (art. 15.1) – jest wystarczająco restrykcyjna, bo bezwarunkowa (nie uwarunkowana gospodarczo). Źródła w parkach narodowych podlegają ochronie prawnej wraz z całą przyrodą i walorami krajobrazowymi. Szczególnie licznie występują one w karpackich parkach narodowych (m.in. cenne krajobrazowo wywierzyska w Tatrzańskim PN), a także w Ojcowskim PN, Świętokrzyskim PN i w parkach sudeckich.

W rezerwatach – obejmujących obszary zachowane w stanie naturalnym lub mało zmienionym – ochronie podlega całość przyrody, ale zwykle któryś z elementów środowiska jest głównym przedmiotem ochrony. Spośród 1385 rezerwatów istniejących w Polsce (2004 r.) jedynie niewielką liczbę stanowią rezerwaty, w których głównym (istotnym) elementem ochrony są źródła. Na obszarze Niżu Polskiego tereny źródliskowe chronione są w rezerwacie „Niebieskie Źródła" (wywierzyska krasowe w wapieniach jurajskich, fot. 5.6.1), czy też w rezerwacie leśnym „Źródło Królewskie" w Kozienickim Parku Krajobrazowym na terenie

Mazowsza. Wypływy z utworów czwartorzędowych chronione są w rezerwatach: „Źródła rzeki Stążki" w Borach Tucholskich, „Źródliska Flinty" w Dolinie Noteci, czy też „Źródła rzeki Łyny" na Pojezierzu Olsztyńskim. Na obszarach wyżynnych istnieje m.in. rezerwat torfowiskowy „Źródła Tanwi" na Roztoczu, rezerwat solniskowy ze źródłem „Owczary" na terenie Niecki Nidziańskiej (Łajczak 2000, 2001) i jeden ze starszych, utworzony w 1957 r. – rezerwat leśno-krajobrazowy „Parkowe" w dolinie Wiercicy ze źródłami Zygmunta i Elżbiety. Przykładami rezerwatów chroniących górskie obszary źródliskowe są m.in.: Źródliska Jasiołki w Beskidzie Niskim, czy też ważny z punktu widzenia tradycji narodowych rezerwat „Barania Góra" ze źródłami Wisły (Alexandrowicz i in. 1975, 1992).

Ochrona źródeł występujących w obrębie parków krajobrazowych oraz obszarów chronionego krajobrazu jest uwarunkowana gospodarczo. Obszary te chronione są w celu zachowania i popularyzacji wartości przyrodniczych i kulturowych zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju (art. 16.1). Liczne źródła chronione są m.in. w zespołach karpackich i podkarpackich parków krajobrazowych, zespołach parków jurajskich, czy też w zespołach świętokrzyskich i nidziańskich parków krajobrazowych. Na terenach tych efektywność ochrony zależy w dużej mierze od miejscowych planów zagospodarowania oraz aktywności i skuteczności działania służb ochrony przyrody, dlatego też w przypadku cennych źródeł celowa jest dodatkowa, indywidualna ochrona – w postaci pomników przyrody nieożywionej.

Źródła jako siedliska naturalne, uwzględnione są jako elementy ochrony w Europejskiej Sieci Ekologicznej Natura 2000. Przykładami obszarów objętych dyrektywą środowiskową z uwagi na źródła są: Cieszyńskie Źródła Tufowe oraz – wspomniane wcześniej – Niebieskie Źródła koło Tomaszowa Mazowieckiego.

Źródła jako zjawiska geologiczne mogą stanowić element stanowiska dokumentacyjnego − kategorii ochronnej utworzonej w celu ochrony obiektów geologicznych (art. 41.1). Ochrona ta jest wprowadzana uchwałami i rozporządzeniami władz lokalnych i ma niższą rangę. W przypadku stanowiska dokumentacyjnego obowiązują zakazy niszczenia lub uszkadzania obiektu, zmiany rzeźby i stosunków wodnych (Alexandrowicz 1991). W Polsce istnieją cztery stanowiska dokumentacyjne ze źródłami. Tak chronione jest m.in. kulturowe źródło bł. Wincentego Kadłubka w Karwowie na Wyżynie Sandomierskiej, które występuje na kontakcie strukturalnym skał kambru oraz miocenu i jednocześnie związane jest z holoceńską martwicą. Ze źródłem tym związana jest najstarsza waloryzacja geologiczna sporządzona w 1829 r. przez Puscha (Gągol, Urban 2000, 2001).

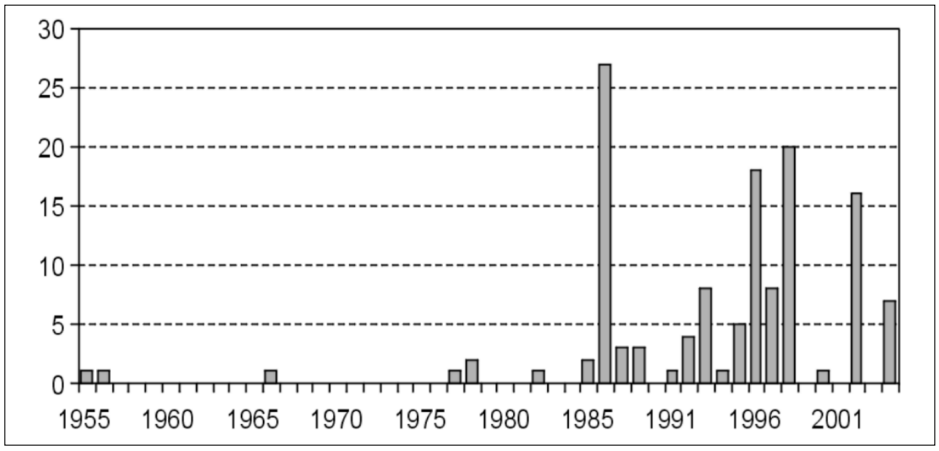
Podobne zasady ochrony obowiązują w zespołach przyrodniczo-krajobrazowych (art. 41) oraz na obszarach użytków ekologicznych (art. 42) powoływanych

uchwałami i rozporządzeniami władz lokalnych. Źródła występujące w obrębie zespołów przyrodniczo-krajobrazowych podlegają ochronie jako element naturalnego lub kulturowego krajobrazu, ze względu na walory widokowe lub estetyczne, natomiast źródła na obszarach użytków ekologicznych są chronione jako ekosystemy, ważne dla zachowania bioróżnorodności.

Najczęstszą formą indywidualnej ochrony prawnej źródeł jest jednak ochrona jako pomniki przyrody nieożywionej. Prawne pojęcie „pomnika przyrody" wprowadzono w Polsce Ustawą o ochronie przyrody w 1949 r. i powtórzono w następnych Ustawach. Według obowiązującej Ustawy z 2004 r. – „pomniki przyrody to pojedyncze twory przyrody żywej i nieożywionej lub ich skupiska o szczególnej wartości przyrodniczej, naukowej, kulturowej, historycznej i krajobrazowej, odznaczające się indywidualnymi cechami, wyróżniającymi je wśród innych tworów... drzewa, ... krzewy..., źródła, wodospady, wywierzyska..." (art. 40.1). W ich przypadku przepisy ochronne zakazują niszczenia lub przekształcania obiektu, zmian rzeźby terenu oraz dokonywania zmian stosunków wodnych nie służących ochronie przyrody lub racjonalnej gospodarce leśnej, wodnej lub rolnej (art. 45.1). Powołanie pomnika przyrody następuje w drodze rozporządzenia wojewody lub uchwały rady gminy.

Indywidualna, pomnikowa ochrona źródeł w Polsce

Pomnik przyrody – to najstarsza tradycją i prawem kategoria ochrony indywidualnej. Przez ochronę pomników przyrody rozumie się czynną ochronę ekosystemów i składników przyrody w celu zachowania lub przywrócenia stanu naturalnego. W stosunku do innych obiektów przyrody nieożywionej, takich jak skałki czy głazy narzutowe, źródła stosunkowo późno zaczęły być uznawane za obiekty prawnie chronione. Początkowo dużą rolę wśród przesłanek ich ochrony odgrywały motywacje kulturowe lub estetyczne. Do połowy lat 70. XX w. jedynie trzy źródła były chronione jako pomniki przyrody (ryc. 5.6.1). Pierwszym źródłem uznanym za pomnik przyrody nieożywionej w 1955 r. było źródło św. Huberta w Wiktorowie, położone w odległości 5 m od brzegu Jeziora Ostrowieckiego w historycznej krainie Pałuki (woj. kujawsko-pomorskie). W Barlinecko-Gorzowskim Parku Krajobrazowym znajduje się źródło „Dar Boży" – pomnik przyrody utworzony w 1956 r. Wśród pierwszych chronionych źródeł znalazły się obiekty całkowicie zabudowane: opiewane w strofach wiersza Wincentego Pola pulsujące źródło „Bełkotka" w Iwoniczu Zdroju (Dominikiewicz 1951) oraz źródło „Pocieszna Woda" w Chabówce (woj. małopolskie), którego wody uznawane są za uzdrawiające, a o którym to źródełku pisał już w 1856 r. lekarz Teodor Triplin.



Ryc. 5.6.1. Liczba źródeł – pomników przyrody nieożywionej ustanowionych w poszczególnych latach
Fig. 5.6.1. Number of springs protected as inanimate nature monuments established in particular years

Na początku lat 80. XX w. na ok. 13,5 tys. pomników przyrody – zaledwie sześć stanowiły źródła (ryc. 5.6.1). W 1987 r. za pomniki przyrody nieożywionej uznano aż 27 źródeł położonych w większości na terenie ówczesnego województwa kieleckiego. Rozporządzenie ochronne wydane przez Wojewodę Kieleckiego dotyczyło różnych typów obiektów przyrody nieożywionej i zostało wydane w ramach realizacji wniosków wynikających z inwentaryzacji tych obiektów w województwie (Urban 1990). W grupie obiektów wodnych objęło jednak przede wszystkim źródła na Wyżynie Krakowsko-Wieluńskiej i Miechowskiej, które stanowiły przedmiot badań krenologicznych zespołu krakowskich hydrografów uniwersyteckich pod kierunkiem Dynowskiej (1983). W czasie kartowania zwrócono uwagę na wyjątkowe walory poznawcze i krajobrazowe źródeł Wyżyny, a także na potrzebę ochrony najbardziej przyrodniczo cennych źródeł (Drzał, Dynowska 1981, 1982a,b, 1984; fot. 5.6.2). Oprócz tych źródeł ochroną objęto również kilka źródeł w Górach Świętokrzyskich: szczelinowe wypływy wód z prawie bezwodnych kambryjskich piaskowców kwarcytowych, wywierzyska krasowe z wapieni dewońskich, źródliska związane z porowymi wodonoścami piaskowcowymi triasu dolnego i jury środkowej, a także z czwartorzędowymi zwietrzelinami skał paleozoicznych. Na początku lat 90. XX w. 42 źródła podlegały indywidualnej ochronie (3,3% ogólnej liczby pomników przyrody nieożywionej), przy czym najwięcej znajdowało się na terenie ówczesnego woj. kieleckiego (Alexandrowicz i in. 1992).

Badania krenologiczne Wyżyny Lubelskiej i Roztocza sięgają lat 60. XX w., ale dopiero lata 90. przyniosły wyraźne ożywienie zainteresowania źródłami.

Efektem prac badawczych zespołu lubelskiego ośrodka uniwersyteckiego było rozpoznanie środowiska tych bardzo zasobnych w wodę regionów, gdzie występują źródła o dużej (powyżej 100 $dm^3 \cdot s^{-1}$) i średniej (10–100 $dm^3 \cdot s^{-1}$) wydajności (Janiec 1992; Michalczyk 1996a,b, 1997). Duża wydajność i atrakcyjność krajobrazowa oraz naukowa tych źródeł jest warunkowana cechami hydrogeologicznymi skał węglanowych, siecią szczelin tektonicznych i znacznymi deniwelacjami terenu. Ze względów naukowo-dydaktycznych i krajobrazowych, a także ze względu na znaczenie kulturowe 37 badanych źródeł zostało objętych ochroną pomnikową, większość z nich w latach 1996–98.

Również w latach 90. XX w. ustanowiono prawną ochronę kilku źródeł w Dolinie Dolnej Wisły oraz na Pojezierzach Południowopomorskim i Chełmińskim. Pomnikowej ochronie podlegają tam punktowe wypływy wód – np. Źródło św. Rocha w dolnej części zbocza doliny Wisły pod Świeciem, a także duże strefy źródliskowe tworzące półkoliste nisze o promieniu rzędu 50 m i głębokości do 10 m zlokalizowane w Czernicy nad Jez. Kosobudzkim w Borach Tucholskich.

W 1996 r. cztery źródła w gminie Świdnica w woj. lubuskim zostały objęte ochroną prawną. Są to jedyne źródła (wraz z dużym źródliskiem w gminie Raszyn, które zostało pomnikiem przyrody pod koniec lat 70.), reprezentujące region Nizin Środkowopolskich.

Specyfika karpackich źródeł wód mineralnych oraz ich zagrożenie zabudową (wykorzystaniem gospodarczym) były podstawą do objęcia ochroną wielu z nich w latach 90. XX w. W Karpatach fliszowych wytypowano do ochrony 16 najcenniejszych niezagospodarowanych źródeł wód siarczkowych i źródeł z wodą typu szczaw zagrożonych dewastacją. Źródła siarczkowe charakteryzują się specyficznym zapachem siarkowodoru oraz osadem, wytworzonym przez kolonie bakterii. Wody mineralne typu szczaw związane są ze strefami zaburzeń tektonicznych i od wielu lat wykorzystywane są w lecznictwie balneologicznym. Większość chronionych źródeł znajduje się na obszarze Popradzkiego Parku Krajobrazowego, a także w strefie otulin Parków Narodowych – Babiogórskiego i Magurskiego (Rajchel, Rajchel 1999; Alexandrowicz, Poprawa 2000).

Sozologiczny kierunek we współczesnych badaniach krakowskich geografów uniwersyteckich jest kontynuacją prac Dynowskiej z lat 80. XX w. W czasie badań krenologicznych przeprowadzonych na Wyżynie w latach 1999–2000 (Chełmicki 2001) zweryfikowano wcześniejsze propozycje ochrony źródeł oraz wytypowano nowe źródła warte ochrony. Badania dostarczyły naukowych podstaw do starań o objęcie formalno-prawną ochroną najcenniejszych obiektów wodnych (Baścik, Pociask-Karteczka 2002). Sporządzona dokumentacja pozwoliła 16 źródłom położonym w południowej części Wyżyn: Krakowsko-Wieluńskiej i Miechowskiej uzyskać w 2002 r. status pomnika przyrody. Źródła szczeli-

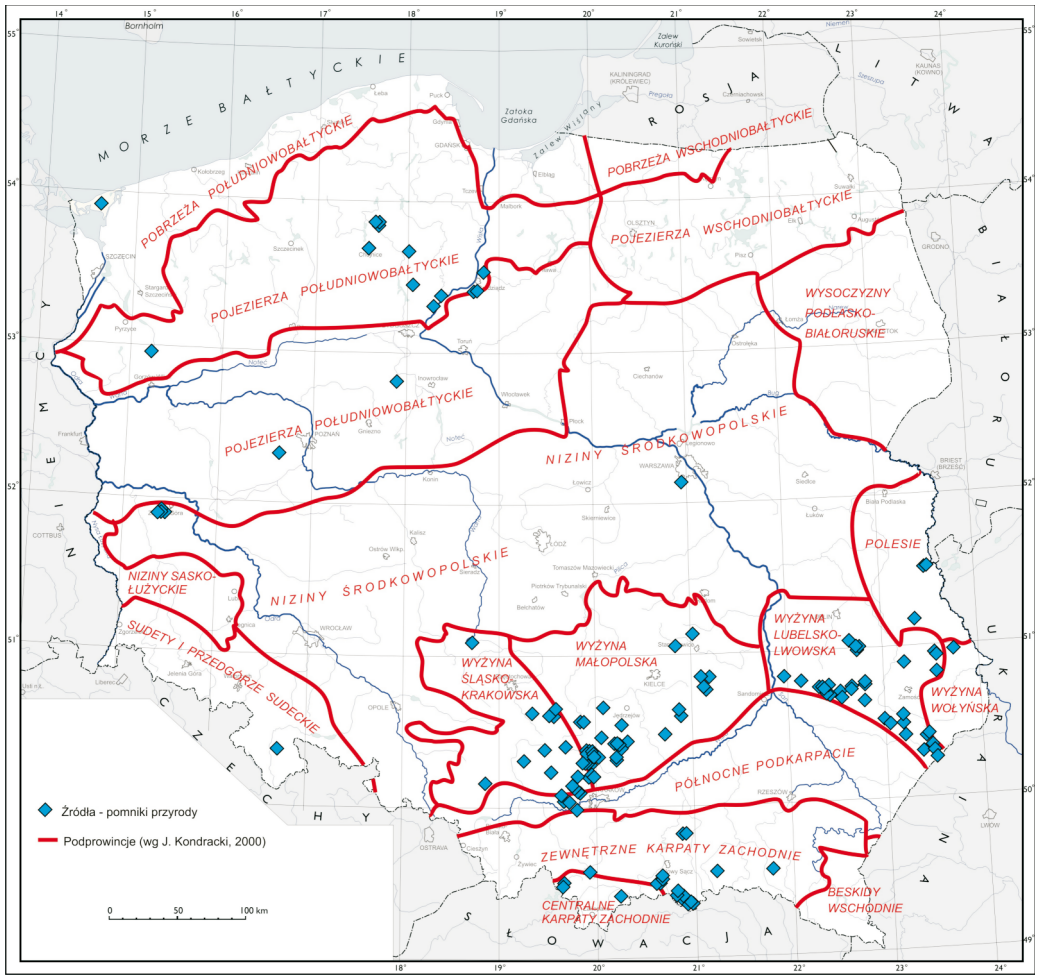
nowe na obszarach węglanowych chronione są przede wszystkim ze względu na szczególne walory krajobrazowe, poznawcze i ekologiczne. Wyżyna reprezentuje obszary krasowe o dużej zasobności wodnej utworów geologicznych, co sprawia, że źródła o charakterze wywierzysk są bardzo wydajne. Stanowią one atrakcyjny, dynamiczny element krajobrazu, a jednocześnie – poprzez tworzenie i modyfikację specyficznych form geomorfologicznych oraz warunków mikroklimatycznych – bezpośrednio wpływają na kształtowanie biotycznych i abiotycznych elementów środowiska (Baścik 2003, 2004). W 2004 r. status pomnika przyrody nieożywionej otrzymało także pięć źródeł Wyżyny położonych na terenie woj. śląskiego.

Na początku 2005 r. w Polsce wśród ponad 34 tys. pomników przyrody jedynie 131 obiektów chronionych stanowiły źródła (0,4%), reprezentując ok. 8% pomników przyrody nieożywionej. Przestrzenne zróżnicowanie źródeł objętych indywidualną ochroną prawną w Polsce jest duże (ryc. 5.5.2). W efekcie wieloletnich działań „ochroniarskich" w pasie wyżyn, zasobnych w wodę i bogatych w interesujące wypływy, znajduje się ponad 64% wszystkich źródeł chronionych jako pomniki przyrody nieożywionej. Źródła Karpat i Pogórza Karpackiego stanowią ok. 18% wszystkich chronionych indywidualnie źródeł w Polsce, natomiast w Sudetach i na Przedgórzu Sudeckim taką ochroną objęte jest tylko jedno – Źródło Romanowskie. Źródła – pomniki przyrody, położone na rozległym obszarze Pojezierzy Południowobałtyckich, stanowią 10% wszystkich źródeł chronionych indywidualnie.

Analizując rozmieszczenie źródeł – pomników przyrody pod względem podziału administracyjnego kraju, można stwierdzić, że większość tych obiektów znajduje się na terenie województw: małopolskiego (39%), lubelskiego (28%) oraz świętokrzyskiego (11%). Taki stan ochrony odzwierciedla poniekąd uźródłowienie poszczególnych regionów geograficznych oraz ich zróżnicowanie hydrologiczno-morfologiczne, sugeruje jednak, że oprócz czynników przyrodniczych ochrona źródeł uwarunkowana jest również aktywnością środowisk naukowych, a także przychylnością wojewódzkich władz dla działań na rzecz ochrony przyrody.

Analiza zagrożeń i skuteczności ochrony źródeł

Podstawowym zagrożeniem źródeł jest niszczenie i zanieczyszczanie niszy źródlanej i wypływających w niej wód. Niszczenie niszy źródlanej występuje szczególnie często w przypadku prób ujęcia wód i zabudowy źródła dla celów gospodarczych lub kulturowych (przeobrażanie miejsca wypływu), a także regulacji koryt rzecznych, czy budowy dróg. Zanieczyszczenie wiąże się ze złym wykorzystaniem lub zagospodarowaniem otoczenia miejsca wypływu. Polega ono, w szczególności, na niszczeniu i przekształcaniu obszarów źródliskowych,



Ryc. 5.6.2. Regionalne rozmieszczenie źródeł chronionych jako pomniki przyrody w Polsce (podział regionalny wg Kondrackiego 2000)
Fig. 5.6.2. Regional distribution of springs protected as nature monuments in Poland (regional division after Kondracki 2000)

wysypywaniu odpadów budowlanych i innych nieczystości, zaśmiecaniu źródła i terenu wokół niego, nadmiernej ingerencji w stosunki wodne nie tylko otoczenia, ale także na obszarze zlewni źródła. Istotna jest również taka lokalizacja obiektów budowlanych względem źródła, aby nie naruszały jego walorów krajobrazowych. Zagrożeniem, które może być trudniejsze do identyfikacji jest obniżanie się zwierciadła wód, związane z eksploatacją wód podziemnych lub odwadnianiem wyrobisk górniczych, które może prowadzić do całkowitego zaniku źródeł.

W przypadku objęcia źródła ochroną prawną w formie pomnika przyrody lub wprowadzenia podobnej kategorii ochrony (użytku ekologicznego, stanowi-

ska dokumentacyjnego) przepisy prawne ograniczają wyżej wymienione zagrożenia, zgodnie z nimi bowiem wszelkie zmiany morfologii i stosunków wodnych muszą być uzasadnione istotnymi potrzebami racjonalnej gospodarki i wymagają zgody władz szczebla wojewódzkiego. Jeszcze bardziej restrykcyjne są przepisy obowiązujące na terenach rezerwatów i parków narodowych, gdzie zakazy zmian morfologii, budowy wszelkich urządzeń oraz zmian stosunków wodnych mają charakter bezwarunkowy. Ochrona czystości wód jest natomiast prawnie gwarantowana ustawą Prawo Wodne (art. 38−50).

W praktyce nie da się wyeliminować działań bezprawnych, np. ujmowania źródeł chronionych lub „nieczystego" pobierania z nich wód przez okolicznych mieszkańców, nieświadomych zasad jego ochrony. Badania krenologiczne dowodzą, że niektóre źródła wymagają przeprowadzenia zabiegów rewitalizacyjnych i zabezpieczających przed degradacją. W przypadku każdego źródła – pomnika przyrody powinien być określony indywidualny sposób jego użytkowania, podporządkowany przede wszystkim ochronie i zachowaniu naturalnych cech źródła i jego otoczenia. W pobliżu chronionych źródeł należy umieścić stosowne tablice informujące o podjęciu jego ochrony.

Propagowanie i wprowadzanie prawnej ochrony źródeł jest uzasadnione, przede wszystkim jednak ważne jest uświadamianie celów tej ochrony. Dowodzą tego ostatnie lata, w których udało się objąć ochroną wiele tego typu obiektów i – przynajmniej w wielu środowiskach „ochroniarskich", władzach lokalnych oraz administracji ochrony przyrody niektórych regionów – wzbudzić świadomość znaczenia tego dziedzictwa przyrodniczego, jakimi są źródła. Przy współpracy z władzami administracji lokalnej można opracować materiały edukacyjne zawierające informacje o cennych przyrodniczo źródłach, z przeznaczeniem dla turystów oraz miejscowej ludności. Większość chronionych źródeł znajduje się w obrębie prywatnych posesji, toteż zachowanie źródła w stosunkowo niezmienionym stanie wymaga ścisłej współpracy z właścicielami tych terenów. Okoliczni mieszkańcy, poinformowani o celowości ochrony źródeł, staną się zapewne sprzymierzeńcami ochrony przyrody. Niemniej ważna jest działalność organizacji społecznych. W tym zakresie cenna wydaje się inicjatywa Ligi Ochrony Przyrody polegająca na prowadzeniu (od 2004 r.) wśród młodzieży szkolnej projektu edukacyjnego pod hasłem „Ochrona źródeł wody".

W ostatnich latach wzrosło zainteresowanie różnych ośrodków naukowych problematyką ochrony źródeł; dostrzega się ich znaczenie nie tylko użytkowe, ale również przyrodnicze (Ciężkowski 2001; Moniewski 2004). Wielorakie aspekty istnienia i funkcjonowania źródeł powodują, że są one obiektami badań interdyscyplinarnych: hydrogeologicznych, hydrologicznych, hydrochemicznych, hydrobiologicznych, kulturowych, krajobrazowych, czy wreszcie sozologicznych.

Takie interdyscyplinarne podejście jest konieczne dla prawidłowej oceny funkcjonowania źródeł w przyrodzie oraz możliwości ich wykorzystania do celów gospodarczych (Baścik, Chełmicki 2004, 2006).

Zintegrowane badania powinny prowadzić do inwentaryzacji naturalnych wypływów wód podziemnych, tworzenia bazy danych o źródłach, opracowań kartograficznych dających obraz rozmieszczenia źródeł w Polsce oraz informację o ich właściwościach, a także do typowania najcenniejszych źródeł do ochrony prawnej. Działania mające na celu ochronę konserwatorską źródeł są bowiem szczególnie ważne w aspekcie gospodarczego znaczenia wody i zagospodarowania jej ujęć, które mogą prowadzić do konfliktów człowiek – przyroda. Dlatego też we wszystkich programach ochrony środowiska i rozwoju regionalnego (miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego, studiach uwarunkowań i kierunków rozwoju przestrzennego gmin itd.) konieczne jest uwzględnienie holistycznie pojętych zasad ochrony jednego z najważniejszych elementów przyrody, jakim jest woda, a więc i źródeł.

Summary

Geoconservation of water springs in Poland

Apart of their number, springs are unique phenomenon documenting conditions of water circulation. Their economic importance and use often gives rise to the degradation of their natural features. But they should be understood as our natural heritage and protected like other abiotic elements of nature. According to Polish Act of Nature Conservation (2004) nature parks and nature reserves are the most effective legal categories of springs protection. Springs are the most valuable elements of several nature reserves located in the Polish mountains, uplands and lowlands. Nature monument is the most popular category of legal protection of individual springs. At the beginning of 2005 only 131 springs were protected in this way (representing 8% of abiotic nature monuments and 0,4% of total number of monuments). But number of monuments of this type has increased greatly in recent period due to the activity of several scientific groups and local administration. The distribution of springs-nature monuments varies greatly in the Polish territory: 18% of them are situated in Carpathians, 64% – in the Polish uplands, 10% – in the Baltic Lakelands, the rest – in the Polish lowlands and Sudetes. Legal protection of springs should contribute to their practical prevention from destruction, especially if it stimulates consciousness of local populations and authorities.

6. BIBLIOGRAFIA

Absalon D., Jankowski A.T., 1999 – Problematyka ochrony źródeł w zlewni Rudy. W: E. Biesiadka, S. Czachorowski (red.) Źródła Polski. Stan badań, monitoring i ochrona. WSP, Olsztyn.

Absalon D., Jankowski A.T., Leśniok M., 2000 – Komentarz do Mapy Hydrograficznej Polski 1:50000, ark. M-34-40-C Koniecpol. Główny Geodeta Kraju, Warszawa.

Absalon D., Matysik M., 2005 – Ocena walorów gminy Lelów. Maszynopis. Aleko, Katowice.

Alexandrowicz S.W., Wilk Z., 1962 – Budowa geologiczna i źródła Doliny Prądnika w Ojcowskim Parku Narodowym. *Ochr. Przyr.*, 28.

Alexandrowicz Z., 1991 – Stanowisko dokumentacyjne jako nowa kategoria ochrony przyrody nieożywionej*, Chrońmy Przyrodę Ojczystą*, 47.

Alexandrowicz Z., Drzał M., Kozłowski S., 1975 – Katalog rezerwatów i pomników przyrody nieożywionej w Polsce, S. *Studia Naturae*, B, 26.

Alexandrowicz Z., Kućmierz A., Urban J., Otęska-Budzyn J., 1992 – Waloryzacja przyrody nieożywionej obszarów i obiektów chronionych w Polsce (z mapą 1:750 000 i 9 zał.). Wyd. PIG., Warszawa.

Alexandrowicz. Z., Poprawa D. (red.), 2000 – Ochrona georóżnorodności w polskich Karpatach. Wyd. PIG, Warszawa.

Alexandrowicz Z., Urban J., Otęska-Budzyn J., – Mapa ochrony georóżnorodności.Wyd. PIG, Warszawa, (w druku).

Allan J.D., 1998 – Ekologia wód płynących. PWN, Warszawa.

Alth A., 1870 – Pogląd na źródła solne i naftowe, tudzież na warzelnie soli kuchennej w Galicyi i Bukowinie. *Spraw. Kom. Fizjogr. AU* (druk 1871), 5.

Arcadis Ekokonrem, 2002 – Dokumentacja rozpoznania możliwości ujęcia wód podziemnych z utworów górnokredowych i starszego paleozoiku dla Gminy Uzdrowiskowej w Dusznikach Zdroju. Arch. Urzędu Miejskiego Dusznik Zdroju.

Atlas Hydrologiczny Polski. *Tom* I., 1987 − J. Stachý (red.), Wyd. Geol., Warszawa.

Atlas Śląska Dolnego i Opolskiego, 1997 − W. Pawlak (red.), Wyd. UWroc., Wrocław.

Awdankiewicz M., 1997 – Petrology and geochemistry of the Carboniferous and Permian volcanic rocks of northern part of Intrasudetic Basin, SW Poland. ING UWr., Wrocław, (niepubl.).

Badowski R., 1997 − Spór o źródła Amazonki. *Wiedza i Życie*, 3.

Bajkiewicz-Grabowska E., 1997 − Odcinki źródłowe rzek. *Poznaj Świat*, 3.

Bajkiewicz-Grabowska E., Magnuszewski A., Mikulski Z., 1993 − Przewodnik do ćwiczeń z hydrologii ogólnej. PWN, Warszawa.

Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z., 1993 − Hydrologia ogólna. PWN, Warszawa.

Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z., 1999 – Hydrologia ogólna. PWN, Warszawa.

Barczyk G., 2003 – Circulation in present-day karst systems sourcing the vaucluse springs in the Polish Tatra Mts., based on tracer methods and limnimetric observations. *Kwart. Geol.*, 47, 1.

Barczyk G., Humnicki Wł., Żurawska G., 2001 – Obserwacje limnimetryczne wywierzysk tatrzańskich. – *Współcz. Probl. Hydrogeol*., 10.

Barczyk G., Humnicki Wł., Żurawska G., 2002 – Dependence of the karstic waters in the Tatra Mts. on changing atmospheric conditions. *Acta Geologica Polonica*, 52, 1.

Bartnik A., Tomaszewski E., 1998 – Źródła w wybranych zlewniach Kotliny Kłodzkiej. *Czas. Geogr*., 4.
Bartnik A., Walisch M., 1997 – Źródła zlewni Bystrzycy Dusznickiej. *Acta Univ. Lodz., Fol. Geogr. Phys*., 2.
Baścik M., 2003 – Źródła w krajobrazie Wyżyn Krakowsko-Wieluńskiej i Miechowskiej, W: U. Myga-Piątek (red.) Woda w przestrzeni przyrodniczej i kulturowej. *Pr. Komisji Krajobr. Kultur. PTG Oddz. Katowicki*, 2.
Baścik M., 2004 – Walory krajobrazowe chronionych źródeł Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej i Miechowskiej W: J. Partyka (red.) Zróżnicowanie i przemiany środowiska przyrodniczo-kulturowego Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej, t. 1. Przyroda, Ojcowski Park Narodowy, Ojców.
Baścik M., Chełmicki W., 2000 – Święte źródła. W: B. Zemanek (red.) Przyroda, nauka, kultura. Inst. Bot. PAN, Kraków.
Baścik M., Chełmicki W., 2002 − Źródła – Przyroda, Geografia, Mistyka. W: J. Kułtuniak (red*.) Rzeki. Kultura – cywilizacja – historia*, 11.
Baścik M., Chełmicki W., 2004 – Źródło jako obiekt badań interdyscyplinarnych. W: B. Izmaiłow (red.) Przyroda – Człowiek – Bóg. IGiPZ UJ, Kraków.
Baścik M., Chełmicki W., 2006 – Interdyscyplinarne badania źródeł. W: A. Richling i in. (red.) Regionalne Studia Ekologiczno-Krajobrazowe. *Probl. Ekol. Krajobr.* 16, 1.
Baścik M., Pociask-Karteczka J., 2002 – Źródła Wyżyny Śląsko-Krakowskiej i Wyżyny Małopolskiej o znacznych walorach przyrodniczych. Propozycje ochrony. W: T. Ciupa, E. Kupczyk, R. Suligowski (red.) Obieg wody w zmieniającym się środowisku, *Pr. Inst. Geogr. AŚ*, 7.
Bażyński J., Turek S., 1969 – Słownik hydrogeologii i geologii inżynierskiej. Wyd. Geol., Warszawa.
Bieroński J., Tomaszewski J.T., 1992 – Warunki cyrkulacji wód we wkładkach marmurów serii metamorficznych Sudetów. Mat. Konf. „Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski", Wrocław. *Pr. Nauk. Inst. Geotech. Politech. Wrocł*., 58, *Ser. Konf*., 29.
Biesiadka E., Cichocka M., Warzecha B., 1990 – Water mites (*Hydracarina*) of the springs in the Kraków-Częstochowa and Miechów Uplands. *Acta Hydrobiol*., 32.
Biesiadka E., Czachorowski S., (red.) 1999 – Źródła Polski. Stan badań, monitoring i ochrona. WSP Olsztyn.
Biesiadka E., Kowalik W., 1978 – Water mites (*Hydracarina*) of the sources of Roztocze. *Acta Hydrobiol*., 20, 1.
Biesiadka E., Kowalik W., 1980 – Water mites (*Hydracarina*) of the Western Bieszczady Mountains. 1. Stagnant waters. *Acta Hydrobiol*., 22, 3.
Biesiadka E., Kowalik W., 1999 – Wodopójki (*Hydracarina*) źródeł Polski – próba syntezy. W: E. Biesiadka, S. Czachorowski (red.) Źródła Polski. Stan badań, monitoring i ochrona. WSP Olsztyn.
Birkenmajer K., 1979 – Przewodnik geologiczny po pienińskim pasie skałkowym. Wyd. Geol., Warszawa.
Bocheńska T., Dowgiałło J., Kleczkowski A.S., Krajewski S., Macioszczyk A., Macioszczyk T., Małecka D., Rogoż M., Różkowski A., Sadurski A., Szczepański A., Witczak S., 2002 – Słownik hydrogeologiczny. PIG, Warszawa.
Bocheńska T., Gurwin J., Wąsik M., 1994 − Hydrogeologia zlewni Górnej Kaczawy. *Acta Univ. Wratisl*., *Pr. Geol.-Miner.*, 1684
Bocheńska T., Marszałek H., Wąsik M., 2002 – Zbiorniki wód podziemnych w obszarach krasowych krystaliniku sudeckiego. *Acta Univ. Wrat.*, *Ser. Hydrogeologia*, 2460.
Bocheńska T., Marszałek H., Wąsik M., 2003 – Drenaż wód szczelinowo-krasowych w rejonie Romanowa (Krowiarki). *Współcz. Probl. Hydrogeol.*, 11, 1.

Bogomołow G.W., 1955 – Podstawy hydrogeologii. Wyd. Geol., Warszawa.
Bonettini M., Cantonani M., 1996 – Macroinvertebrate assemblages of springs of the River Sarca catchment (Adamello-Brenta Regional Park, Trentino, Italy). *Crunoecia*, 5.
Borowik R., 1976 − Morfologiczno-hydrograficzna charakterystyka zlewni górnej Nysy Kłodzkiej. Maszynopis. Inst. Geogr. i Rozw. Region., Wrocław.
Botosaneanu L., 1995 – Springs as refugia geographic relicts. *Crunoecia*, 4.
Brzeg A., 1990 – O występowaniu w Wielkopolsce Cardamino (amarae)-Beruletum erecti Turonova 1985 – nowego dla Polski zespołu ze związku Sparganio-Glycerion. *Bad. Fizjogr. Pol. Zach*., B, 40.
Brzeziński H., 1992 – Objaśnienia do szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000, ark. Głowno. PIG, Warszawa.
Buczyński P., 1999 – Ważki (*Odonata*) terenów źródliskowych Polski – stan poznania i propozycje dalszych badań. W: E. Biesiadka, S. Czachorowski (red.) Źródła Polski. Stan badań, monitoring i ochrona. WSP Olsztyn.
Buczyński P., Czachorowski S., Moroz M., Stryjecki R., 2003 – Odonata, Trichoptera, Coleoptera, and Hydrachnidia of springs in Kazimierski Landscape Park (Ekstern Poland) and factors affecting the characters of these ecosystems. *Supp. Ad Acta Hydrobiol*., 5.
Buczyński S., 2001 – Wody podziemne źródłowego odcinka Nysy Kłodzkiej – arkusz Międzylesie. Maszynopis. Inst. Nauk Geol. UWr.
Buczyński S., 2005 − Przejawy występowania wód podziemnych w źródłowym odcinku Nysy Kłodzkiej. *Pr. Geol.-Miner*., 75.
Buczyński S., Rzonca B., 2003 − Wstępne wyniki badań składu chemicznego wód krasowych Ziemi Kłodzkiej. *Prz. Geol*., 51, 11.
Buczyński S., Staśko S., Rzonca B., 2003 – O potrzebie stworzenia bazy danych źródeł. *Współcz. Probl. Hydrogeol*. 11, 1.
Burchard J., Maksymiuk Z., 1997 – Źródła w dorzeczu Widawki. *Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Phys*., 2.
Byczkowski A., 1979 – Hydrologiczne podstawy projektów wodnomelioracyjnych (przepływy charakterystyczne). PWRiL, Warszawa.
Byczkowski A., 1996 – Hydrologia, tom II. Wyd. SGGW, Warszawa.
Byczkowski A., 1997 − Wpływ urbanizacji na reżim hydrologiczny małych cieków nizinnych W: Mat. II Ogólnop. Konf. Nauk. „Przyrodnicze i Techniczne Problemy Ochrony i Kształtowania Środowiska Rolniczego", Poznań.
Cantonati M., Gerecke R., Bertuzzi E., 2006 – Springs of the Alps – sensitive ecosystems to environmental change: from biodiversity assessments to long-term studies. *Hydrobiologia,* 562.
Castany G., 1972 – Poszukiwanie i eksploatacja wód podziemnych. Wyd. Geol., Warszawa.
Celiński F., Czylok A., Kubajak A., 2003 – Przewodnik przyrodniczy po Dąbrowie Górniczej, Wydawnictwo Kubajak, Krzeszowice.
Chełmicki P., 2006 – Przestrzenna baza danych pomiarowych na przykładzie bazy danych źródeł dorzecza Dłubni. *Prz. Geol.*, 54, 8.
Chełmicki W., 1986 – Źródła Niecki Nidziańskiej. *St. Ośr. Dok. Fizjogr. PAN,* 14.
Chełmicki W. (red.), 2001 – Źródła Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej i Miechowskiej. Zmiany w latach 1973−2000. Inst. Geogr. i Gosp. Przestrz. UJ, Kraków.
Chmielewska J., 2000 – Warunki hydrogeologiczne i jakość wód górskiej części zlewni Mąkolnicy (Bystrej) na podstawie badań źródeł (Sudety Wschodnie). Maszynopis. Arch. IHiGI Wydz. Geol., UW.
Choiński A., 1978 − Hydrografia jezior wolińskich. W: A. Kostrzewski (red.) Studia z geografii fizycznej i ekonomicznej wyspy Wolin. Wyd. Stud. Koło Nauk. Geogr. im. S. Pawłowskiego, UAM, Poznań.

Choiński A., Wrzesiński D., 1986 − Ogólna charakterystyka źródeł zlokalizowanych na odcinku klifu Międzyzdroje-Wisełka. W: A. Kostrzewski (red.) Woliński Park Narodowy. Monografia geograficzna. Wyd. Stud. Koło Nauk. Geogr. im. S. Pawłowskiego, UAM, Poznań.
Chowaniec J., Gierat-Nawrocka D., Witek K., 1981 – Objaśnienia do mapy hydrogeologicznej Polski 1:200 000, ark. Nowy Sącz. Wyd. Geol., Warszawa.
Chowaniec J., Witek K., 1997a – Mapa hydrogeologiczna Polski. Skala 1:50 000, ark. Szczawnica-Krościenko. PIG, MOŚZNiL, Warszawa.
Chowaniec J., Witek K., 1997b – Objaśnienia do mapy hydrogeologicznej Polski. Skala 1:50 000, ark. Szczawnica-Krościenko. PIG, MOŚZNiL, Warszawa.
Ciężkowski W., 1989 – Wstępne wyniki badań znacznikowych wód podziemnych w metamorfiku Gór Orlickich. *Pr. Nauk. Inst. Geotech. Politech. Wrocł*., 58, *Ser. Konf*., 29.
Ciężkowski W., 2001− O potrzebie uznania niektórych źródeł w Sudetach za pomniki przyrody. *Współcz. Probl. Hydrogeol*., 2.
Ciężkowski W., 2005 − O ujawnieniu się nieznanej sztolni w Konradowie (Masyw Śnieżnika, Sudety) podczas powodzi 1997 roku. *Pr. Nauk. Inst. Górn. Polit. Wrocł*., 111.
Ciężkowski W., Krawczyk W., Ouhrabka V., Řehak J., 1992 – Kompleksowe badania wód krasowych górnej części doliny Morawy w Masywie Śnieżnika (Czecho-Słowacja). Mat. Konf. „Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski", Wrocław. *Pr. Nauk. Inst. Geotech. Politech. Wrocł*., 58, *Ser. Konf*., 29.
Ciężkowski W., Kryza H., Kryza J., Pulina M., Řehak J., Staśko S., Tarka R., 1997 − Wody podziemne i wpływ czynników antropogenicznych na ich zasoby i jakość. W: A. Jahn, S. Kozłowski, M. Pulina (red.) Masyw Śnieżnika. Zmiany w środowisku przyrodniczym. Wyd. PAE, Warszawa.
Ciężkowski W., Rajchel L., 2006 – Wody lecznicze górskich obszarów Polski i ich wykorzystanie. *Współcz. Probl. Hydrogeol*, 12.
Crema S., Ferrarese U., Golo D., Modena P., Sambugar B., Gerecke R., 1996 – A research on benthonic and interstitial fauna in Alpine and pre-Alpine springs. Centro di Ecologia Alpina, Trento, Report N. 8.
Cwojdziński S., 1974 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Sudetów 1:25 000, ark. Złoty Stok. Wyd. Geol., Warszawa.
Cwojdziński S., 1977 – Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów, 1:25 000, ark. Złoty Stok. Wyd. Geol., Warszawa.
Cymerman Z., 1992 – Objaśnienia do szczegółowej mapy geologicznej Sudetów 1:25000, ark. Duszniki Zdrój. PIG, Warszawa.
Czachorowski S., 1990 – Caddisflies (*Trichoptera*) of the springs of the Kraków-Częstochowa and the Miechów Uplands (Poland). *Acta Hydrobiol*., 32.
Czachorowski S., 1999a – Methods of recording and faunistical research of springs habitats in Poland. *Crunoecia*, 6.
Czachorowski S., 1999b – Chruściki (*Trichoptera*) źródeł Polski – stan poznania. W: E. Biesiadka, S. Czachorowski (red.) Źródła Polski. Stan badań, monitoring i ochrona. WSP Olsztyn.
Czarnecka B., 2005 – Plant cover of the Szum river valley (Roztocze, South-East Poland), *Acta Soc. Bot. Pol*. 74, 1.
Czarnecka B., Janiec B., 1999a – Strefowość i stratyfikacja hydrogeochemiczna w dolinie rzecznej a typy roślinności. W: J. Burchard, M. Ziułkiewicz (red.) XI Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Chemizm opadów atmosferycznych, wód powierzchniowych i podziemnych", Łódź, 17–19.XI.1999. Wyd. UŁ, Łódź.
Czarnecka B., Janiec B., 1999b – Underground drainage and the functionning of peat-bogs in break sections of river valleys. W: P. Vlasak, P. Filip, Z. Chara (red.) Problems in Fluid Mechanics and Hydrology, Proceedings of the International Conference, vol. 2 „Hydrology and Environmental Problems", June 23–26, 1999, Prague, Czech Republic.

Czarnecka B., Janiec B., 2001a – Abiotic conditions affecting the biodiversity of the „Szum" Landscape Reserve in Roztocze. *Ekológia* (Bratislava) 20, 4.
Czarnecka B., Janiec B., 2001b – Factors affecting the distribution and properties of forest soils in river breaks of Roztocze, *Acta Agrophysica* 50.
Czarnecka B., Janiec B., 2002 – Przełomy rzeczne Roztocza jako modelowe obiekty w edukacji ekologicznej. Wyd. UMCS, Lublin.
Czarnecka B., Janiec B., 2006 – Krajobrazy roślinne jako wyraz naturalnych i antropogenicznych przemian środowiska małych dolin rzecznych Roztocza, Regionalne Studia Ekologiczno-Krajobrazowe. *Probl. Ekol. Krajobr*., 16, (w druku).
Czarnecka B., Moszyńska U., Fita K., 2001 – Zbiorowiska leśne rezerwatu „Czartowe Pole": stan aktualny i tendencje dynamiczne, *Parki Nar. Rez. Przyr.* 20, 3.
Czarnecka H., 1960 – Wstępne wyniki hydrologicznych badań źródeł. *Biul. PIHM*, 8(30).
Czarnecka H., 1967 – Wyniki badań PIHM nad rozmieszczeniem i reżimem hydrologicznym źródeł w dorzeczu Wisły. *Biul. PIHM* , 4(103).
Czarnecka H., 1973 – Rozmieszczenie źródeł na Wyżynie Małopolskiej. *Pr. i Stud. IG UW*, 14.
Czarnecka H., 1975 – Reżim źródeł na Wyżynie Małopolskiej. *Pr. IMGW*, 6.
Czarnecka H., 1987 – Zasady obliczania maksymalnych przepływów prawdopodobnych. Parametry fizyczno-geograficzne cieków i zlewni. *Gosp. Wod*., 3.
Czebotariew A.I., 1970 – Gidrołogiczeskij słowar'. Gidrometeorołogiczeskoje Izdawatel'stwo, Leningrad.
Czerniawska-Kusza I., 1999 – Makrobezkręgowce potoków Płaskowyżu Głubczyckiego. W: E. Biesiadka, S. Czachorowski (red.) Źródła Polski. Stan badań, monitoring i ochrona. WSP Olsztyn.
Danks H.V., Williams D.D., 1991 – Arthropods of spring, with particular reference to Canada: synthesis and needs for research. *Mem. Ent. Soc. Can*., 155.
Dawydow L.K., Dmitrijewa A.A., Konkina N.G., 1979 – Hydrologia ogólna. PWN, Warszawa.
Dąbrowski S., Szafranek M., 1983 – Dokumentacja hydrogeologiczna ujęcia wód podziemnych z utworów górnej kredy, triasu i permu w kategorii "B" i "C". PG Wrocław, CAG PIG, Warszawa.
Degórski M., 2006 – Ponadczasowe wartości geografii jako dyscypliny naukowej. Mat. Konf. „Wartości w geografii", Lublin 6−7 kwietnia 2006. Zakł. Geogr. Fiz. i Paleogeogr., UMCS, Lublin.
Dembek W., 1993 – Rodzaje torfowisk soligenicznych oraz ich znaczenie przyrodnicze i rolnicze*, Wiad. IMUZ* 17, 3.
Dębski K., 1970 – Hydrologia. Wyd. Arkady, Warszawa.
Dobija A., Dynowska I., 1975 – Znaczenie parametrów fizycznogeograficznych zlewni dla ustalenia wielkości odpływu rzecznego. *Folia Geogr., Ser. Geogr. Phys*., 9.
Doborzyński S., 1896 – Przyczynek do wyjaśnienia sposobu powstania źródeł żelazistych w okolicach Lublina. *Pam. Fizjogr.*, 14, 2.
Dominikiewicz M., 1951 – Wody mineralne Polski. PZWL, Warszawa.
Don J., Dziedzic K., Jerzykiewicz T., Śliwiński W., Teisseyre A.K., 1980 – Litologia, stratygrafia i tektonika formacji osadowych i wulkanicznych niecki śródsudeckiej i rowu Nysy. Etap II: niecka krzeszowska. ING UWr., Wrocław.
Don J., Opletal M., 1997 − Budowa i ewolucja geologiczna Masywu Śnieżnika. W: A. Jahn., S. Kozłowski., M. Pulina (red.) Masyw Śnieżnika – zmiany w środowisku przyrodniczym. Wyd. PAE, Warszawa.
Don J., Skácel J., Gotowała R., 2003 – Mapa Geologiczna Metamorfiku Śnieżnika i Kopuły Velkovrbenskiej. *Geologia Sudetica*, 35 (załącznik).
Drwal J., 1968 – O zanikaniu wód Cisówki (okolice Gdyni). *Zesz. Geogr. WSP w Gdańsku*, 10.

Drwal J., 1979 – Charakterystyka hydrograficzna W: B. Augustowski (red.) Pojezierze Kaszubskie. GTN – Ossolineum, Wrocław.
Drwal J., 1982 – Wykształcenie i organizacja sieci hydrograficznej jako podstawa oceny struktury odpływu na terenach młodoglacjalnych. *Zesz. Nauk. UG*, *Rozpr. i monogr*., 33.
Drwal J., 1992 – Geograficzna interpretacja systemów hydrograficznych (w terenach młodej plejstoceńskiej akumulacji polodowcowej). Maszynopis. Katedra Hydrologii UG, Gdańsk.
Drwal J., Hryniszak E., 2003 – Hydrologiczne funkcje zagłębień bezodpływowych w terenach młodej akumulacji lodowców skandynawskich W: A. Kostrzewski, J. Szpikowski (red.) Funkcjonowanie geoekosystemów zlewni rzecznych. Inst. Bud. Czwartorz. i Geoekologii UAM, Zakł. Geol., Stacja Geoekol. w Storkowie, Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.
Drwal J., Jankowski A.T., Kaniecki A., Michalczyk Z., 1997 – Mapa hydrograficzna Polski, skala 1:50 000. Wytyczne Techniczne K-3,4. GUGiK, Warszawa.
Drzał M., Dynowska I., 1981 – Cenne przyrodniczo źródła na Wyżynie Krakowsko-Wieluńskiej. *St. Ośr. Dok. Fizjogr. PAN,* 8, 1.
Drzał M., Dynowska I., 1982a – Cenne przyrodniczo źródła na Wyżynie Miechowskiej. *St. Ośr. Dok. Fizjogr. PAN,* 10.
Drzał M., Dynowska I., 1982b – Źródła w Załęczańskim Parku Krajobrazowym. *St. Ośr. Dok. Fizjogr. PAN,* 11.
Drzał M., Dynowska I., 1984 – O potrzebie ochrony źródeł w gospodarowaniu wodą na obszarze zachodniej części Wyżyny Małopolskie*., Zesz. Nauk. UJ*, *Pr. Geogr.,* 59.
Duszyńska E., 1969 – Najsilniejsze źródło w dorzeczu Wieprza. *Przegl. Geofiz*., 1.
Dylik J., 1948 – Ukształtowanie powierzchni i podział na krainy podłódzkiego obszaru. *Acta Geogr. Univ. Lodz.*, 1.
Dynowska I., 1979 – Charakterystyka źródeł Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej. *St. Ośr. Dok. Fizjogr. PAN,* 7.
Dynowska I., 1983 – Źródła Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej i Miechowskiej. *St. Ośr. Dok. Fizjogr. PAN,* 11.
Dynowska I., 1986 – Regionalne zróżnicowanie źródeł w Polsce. *Folia Geogr. Ser. Geogr.-Phys.*, 18.
Dynowska I., 1991 – Obieg wody. W: L. Starkel (red.) Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze. PWN, Warszawa.
Dynowska I., Tlałka A., 1978 – Hydrografia. Cz. I (Potamologia, Hydrogeologia). *Skrypty uczelniane UJ*, 288.
Dynowska I., Tlałka A., 1982 − Hydrografia. PWN, Warszawa.
Erman N.A., 1986 – Movements of self-marked caddisfly larvae, *Chyranda centralis* (*Trichoptera: Limnephilidae*) in a Sierran spring stream, Califormia, U.S.A. *Freshwater Biology*, 16.
Erman N.A., Erman D.C., 1990 – Biogeography of caddisfly (*Trichoptera*) assemblages in cold springs of the Sierra Nevada (California, USA). *California Water Res. Cent.*
Fac-Beneda J., 2003 – Wymiar fraktalny sieci rzecznej uporządkowanej metodą Hortona-Strahlera i metodą Drwala. Mat. Konf. „Ewolucja Pojezierzy i Pobrzeży Południowobałtyckich u schyłku ostatniego glacjału i w holocenie", Starbienino 10–12.09.2003, Gdańsk.
Fac-Beneda J., 2005 – Hydrologiczne funkcje jednostek struktury hydrograficznej w zlewniach młodoglacjalnych. Mat. XVI Ogólnopol. Symp. Zintegr. Monitor. Środ. Przyr. „Funkcjonowanie i monitoring geoekosystemów Polski w warunkach narastającej antropopresji", 15–17.09.2005, Wigry.
Fac-Beneda J., Jereczek K., Magierska S., 2002 – Struktura hydrograficzna jako efekt uwarunkowań fizyczno-geograficznych. Mat. Konf. „Funkcjonowanie geoekosystemów zlewni rzecznych. Obieg wody, uwarunkowania i skutki w środowisku przyrodniczym", Kołobrzeg 16–18.10.2002, Poznań – Storkowo.

Felter A., Nowicki Z., 1997 – Tryt – bezpośredni wskaźnik wrażliwości warstwy wodonośnej na antropopresję. *Prz. Geol.,* 45, 9.
Fischer J., 1993 – Hydropetrische Faunenelemente als Bestandteile naturnaher Quellbiotope. *Crunoecia*, 2.
Fischer J., 1994 – Zum Vorkommen von Eintagsfliegen (Insecta:Ephemeroptera) in Quellen der deutschen Mittelgebirgsregion. *Crunoecia*, 3.
Fischer J., 1996 – Bewertungsverfahren zur Quellfauna. *Crunoecia*, 5.
Fischer J., Schnabel M., Schanabel S., 1995 – Die Besiedlungsstruktur naturnaher Waldquallen am Beispiel der Diptera. *Crunoecia*, 4.
Freeze A.R., Cherry J.A., 1979 − Groundwater. Prentice Hall Inc., New Jersey.
Gawlikowska E., 2000 – Ochrona georóżnorodności na Dolnym Śląsku. PIG, Warszawa.
Gągol J., Urban J., 2000 – Jerzy Bogumił Pusch prekursorem ochrony geologicznych stanowisk dokumentacyjnych. *Prz. Geol*., 48, 1.
Gągol J., Urban J., 2001, – Źródło błogosławionego Wincentego Kadłubka w Karwowie koło Opatowa i towarzyszące mu odsłonięcia geologiczne jako zabytek przyrody nieożywionej,. *Posiedz. Nauk. PIG,* 57, 9.
Gerecke R., Di Sabatino A., 1996 – Water mites (*Acari*, *Hydrachnellae*) and spring typology in Sicily. *Crunoecia*, 5.
Glazier D.S., Gooch J.L., 1987 – Macroinvertebrate assemblages in Pensylvania (U.S.A.) springs. *Hydrobiologia*, 150.
Gładysz R., 1976 – Charakterystyka źródeł w dorzeczu Luciąży. *Zesz. Nauk. UŁ*, 2 (57).
Goetel W., 1929 – Utworzenie parku narodowego w Pieninach. *Ochr. Przyr*., 9.
Gołąb J., 1947 – Krótka charakterystyka źródeł okolic Krzeszowic. *Acta Geol. Pol.*, 3, 3.
Gołąb J., 1968 – Hydrogeologia W: Wstęp do nauk geologicznych. Warszawa.
Gołębiewski R., Woźniak P., 2003 – Formy kemowe koło Lubowidza w aspekcie paleogeografii pradoliny Redy-Łeby. W: R. Gołębiewski (red.) Ewolucja Pojezierzy i Pobrzeży Południowobałtyckich, Gdańsk.
Górniak A., Jekatierynczuk-Rudczyk E., 1997 – Anthropogenic changes in spring water quality in the area of the town of Białystok (northeastern Poland). *Acta Hydrobiol*., 39, 1−2.
Gutry-Korycka M., Werner-Więckowska H. (red.), 1996 – Przewodnik do hydrograficznych badań terenowych. PWN, Warszawa.
Habryń S., 2002 – Podatność na zanieczyszczenia azotanami wybranego fragmentu Głównego Zbiornika Wód Podziemnych o charakterze szczelinowo-porowym. Maszynopis. ZHiOW, Wydz. GGiOŚ, AGH, Kraków.
Hackett O.M., 1998 – Springs. W: R.W. Herschy, R.W. Fairbridge (red.) Encyclopedia of hydrology and water resources. Kluwer, Dordrecht.
Hejmanowski J., Kleczkowski A.S., 1994 – Wstępne badania migracji zanieczyszczeń w miąższej strefie aeracji margli i wapieni kredowych Niecki Miechowskiej (GZWP 409). W: A.S. Kleczkowski (red.) Metodyczne podstawy ochrony wód podziemnych. Projekt KBN: 9 0615 91 01, AGH, Kraków.
Herbich J., 1998 – Staniszewskie Zdroje – ochrona szaty roślinnej źródlisk. W: J. Herbach, M. Herbichowa (red.) Szata roślinna Pomorza – zróżnicowanie, zagrożenia, ochrona. Przewodnik Sesji Terenowej 51 Zjazdu PTB, Wyd. UG, Gdańsk.
Hermanowicz W., Dojlido J., Dożańska W., Koziorowski B., 1999 – Fizykochemiczne badania wody i ścieków. Arkady, Warszawa.
Hounslow A.W., 1995 – Water quality data. Analysis and interpretation. Lewis Publishers, New York.
Hryniszak E., 2005 – Funkcje zagłębień bezodpływowych w terenach młodoglacjalnych i hydrologiczne uwarunkowania występowania obszaru bezodpływowego „Linia". Mat. XVI Ogól-

nopol. Symp. Zintegr. Monitor. Środ. Przyr. „Funkcjonowanie i monitoring geoekosystemów Polski w warunkach narastającej antropopresji", 15–17.09.2005, Wigry.
Humnicki W., 1989 – Znaczenie badań stacjonarnych w rozpoznaniu związków hydraulicznych wód powierzchniowych i podziemnych zlewni Białki w Tatrach. Mat. Symp. „Hydrogeologiczne problemy południowo-zachodniej Polski", Szklarska Poręba 18–20.09.1989. Wyd. Polit. Wrocł., Wrocław.
Humnicki W., 2003 – Odpływ podziemny w wybranych zlewniach Pienińskiego Parku Narodowego. *Pieniny – Przyroda i Człowiek*, 8.
Humnicki W., 2005 – Jakość wód podziemnych i powierzchniowych Pienińskiego Parku Narodowego. IX ročnik medzinárodnej vedeckej konferencie „Hydrogeochémia 05", 21−22 VI, Bratislava.
Humnicki W., 2006a – Reżim źródeł pienińskich w świetle obserwacji limnimetrycznych. *Pieniny – Przyroda i człowiek,* 9, (w druku).
Humnicki W., 2006b – Badania izotopowe źródeł pienińskich. *Pieniny – Przyroda i człowiek*, 9, (w druku).
Instrukcja opracowania mapy hydrograficznej Polski 1:50 000, 1964 – *Dok. Geogr.*, 3.
Janiak A., 2004 – Geobotaniczne zróżnicowanie źródlisk w strefie krawędziowej Wzniesień Łódzkich. Maszynopis. Kat. Geobot. i Ekol. Rośl. UŁ, Łódź.
Janiec B., 1972 – Źródła południowej krawędzi Wyżyny Lubelskiej i ich związek z tektoniką. *Biul. LTN*, s. D, 14.
Janiec B., 1984 – Wody podziemne w strefie południowo-zachodniej krawędzi Wyżyny Lubelskiej. Wyd. Geol., Warszawa.
Janiec B., 1992 – Ochrona źródeł na Roztoczu. *Ann. UMCS*, 47, 9.
Janiec B., 1997 – Transformacje i translokacje jonowe w wodach naturalnych Roztocza Zachodniego. Wyd. UMCS, Lublin.
Janiec B., 2002 − Rzeki i doliny rzeczne w krajobrazie strefy krawędziowej W: Przełomy rzeczne Roztocza jako modelowe obiekty w edukacji ekologicznej. Hydrologia Zlewni Górskich, *Zesz. Nauk. Akad. Techn.-Human. w Bielsku-Białej*, 9.
Janiec B., Czarnecka B., 2001 – The „Czartowe Pole" Landscape Reserve in Roztocze (SE Poland) in the Light of Interdisciplinary Research. *Ekológia* (Bratislava) 20, 4.
Janiec B., Czarnecka B., 2006a – Iły krakowieckie jako wskaźnik litostratygrafii w dolinie rzeki Sopot na Roztoczu. *Prz. Geol*. 54, 10.
Janiec B., Czarnecka B., 2006b – Chronostruktura krajobrazu przełomów rzecznych południowej strefy krawędzi Roztocza Tomaszowskiego. Regionalne Studia Ekologiczno-Krajobrazowe. *Probl. Ekol. Krajobr*., 16, (w druku).
Janiec B., Michalczyk Z., 1988 – Wybrane problemy krenologiczne Roztocza Zachodniego. W: Z. Michalczyk, K.H. Wojciechowski (red.) Badania hydrograficzne w poznawaniu środowiska. Wyd. UMCS, Lublin.
Janiec B., Michalczyk Z., 1991 − Wydajność i skład chemiczny wód największych źródeł Roztocza i Wyżyny Lubelskiej. *Współcz. Probl. Hydrogeol*., 5.
Jankowski A.T., 1976 − Intensywność urbanizacji a zróżnicowanie dynamiki wód podziemnych na obszarze Bydgoszczy. W: Problemy Geografii Fizycznej, *Stud. Soc. Scient. Torun*., 8, *sec. C*, 4-6, Toruń.
Jankowski A.T., 1986 − Antropogeniczne zmiany stosunków wodnych na obszarze uprzemysłowionym i zurbanizowanym (na przykładzie Rybnickiego Okręgu Węglowego). *Pr. Nauk. UŚ*, 868.
Jankowski A.T., 2006 − Wpływ antropopresji na warunki hydrologiczne źródeł. W: P. Moniewski, P. Tomalski (red.) Źródła – środowiskowe aspekty badań. WNG UŁ, Łódź.
Jekatierynczuk-Rudczyk E., 1999a – Hydrochemia czwartorzędowych źródlisk dorzecza Supraśli. Maszynopis. UMCS, Lublin.

Jekatierynczuk-Rudczyk E., 1999b – Effects of drainage basin managment on the chemical composition of waters in lowlands springs. *Acta Hydrobiol*., 41.
Jekatierynczuk-Rudczyk E., 1999c – Tło hydrochemiczne płytkich wód podziemnych w dorzeczu Supraśli. W: D. Wawrentowicz (red.) Gospodarka wodno-ściekowa w Euroregionie Niemen.
Jekatierynczuk-Rudczyk E., Żuk E., 2006 – Walory krenologiczne Białegostoku i okolic. *Podlaska Kultura Fizyczna*, 1, 8.
Jokiel P., 1994a – Wieloletnie i sezonowe zmiany wydajności wybranych źródeł Polski. *Wiad. IMGW*, 17, 4.
Jokiel P., 1994b − Zasoby, odnawialność i odpływ wód podziemnych strefy aktywnej wymiany w Polsce. *Acta Geogr. Lodz*., 66−67.
Jokiel P., 1997 – Podstawowe cechy reżimu wydajności wybranych źródeł karpackich. *Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Phys*., 2.
Jokiel P., 2002 – Woda na zapleczu wielkiego miasta. IMGW, Warszawa.
Jokiel P., Maksymiuk Z., 1997 – Zastosowanie analizy wydajności źródeł do oceny niektórych charakterystyk zbiorników wód podziemnych. *Prz. Geol*., 5.
Jokiel P., Maksymiuk Z., 2000 – Morfologiczne i geologiczne tło procesu obiegu wody w małej zlewni położonej w północnej części Wyżyny Łódzkiej. *Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Phys*., 5.
Jokiel P., Moniewski P., 2000 – Warunki gromadzenia i drenażu oraz kierunki ochrony zasobów wód podziemnych w strefie podmiejskiej Łodzi, na przykładzie zlewni Dzierżąznej. *Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Phys*., 5.
Jokiel P., Tomalski P., 2005 – Odpływ oraz fizykochemiczne właściwości wód płynących w sąsiedztwie węzła Autostrad A1 i A2 w okolicy Łodzi. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus* 4, 2.
Kaniecki A., 1982 – Pojemność retencyjna i zmienność zasobów małej zlewni nizinnej na przykładzie dorzecza Wrześnicy. UAM, Poznań.
Kawecka B., Eloranta P.V., 1994 – Zarys ekologii glonów wód słodkich i środowisk lądowych. PWN, Warszawa.
Kazimierski B. (red.), 2004 − Kwartalny Biuletyn Informacyjny Państwowej Służby Hydrogeologicznej, PIG, Warszawa.
Kazimierski B., Małecka D., Różkowski A., 1999 – Cel, metody i wyniki monitoringu wód podziemnych w Polsce. *Biul. Pań. Inst. Geol*., 338.
Kaziuk H., Lewandowski J., 1980 – Mapa Geologiczna Polski w skali 1:200 000, ark. Kraków. Wyd. Geol., Warszawa.
Kaźmierczakowa R., Zarzycki K., 2001 – Polska Czerwona Księga Roślin. Paprotniki i rośliny kwiatowe. Inst. Bot. im. W Szafera, Inst. Ochr. Przyr. PAN, Kraków.
Keller R., 1962 – Gewasser und Wasserhaushalt des Festlandes. B. G. Teubner Verlagsgesselschaft, Leipzig.
Kępczyński K., Załuski T., 1987 – Szata roślinna rezerwatu „Szumny Zdrój". *Studia Soc. Sci. Torun*., *Sec. D*, 11, 6.
Khmeleva N., Nesterovich A., Czachorowski S., 1994 – The macroinvertebrate fauna of some Byelorussian, Karelian, and altaian springs and its relation with certain factors. *Acta Hydrobiol*., 36.
Kiciński T., 1966 – O obliczaniu odpływu gruntowego w ZSRR. *Biul. PIHM,* 2.
Kille K., 1970 – Das Verfahren MoMNQ, ein Beitrag zur Berechnung der mittleren langjährigen Grundwasserneubildung mit Hilfe der monatlichen Niedrigwasserabflüsse. Z. Deutsch. Geol. Ges., Sonderh. Hydrogeol. Hydrochem., Hannover.
Kiss O., Schmera D., 1996 – Die Köcherfliegen der Quellregionen des nord-ungarischen Bükk-Gebirges. *Crunoecia*, 5.
Klasyfikacja zwykłych wód podziemnych dla potrzeb monitoringu środowiska, 1993 − Bibl. Monit. Środ., PIOŚ, Warszawa.

Klatkowa H., 1965 – Niecki i doliny denudacyjne w okolicach Łodzi. *Acta Geogr. Lodz*., 19.
Kleczkowski A.S., 1971 – Wydajność minimalna głównego źródła Prądnika i znaczenie ochrony jego wód dla Ojcowskiego Parku Narodowego. *Ochr. Przyr.*, 36.
Kleczkowski A.S., 1972 – Wody powierzchniowe i podziemne Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej. *St. Ośr. Dok. Fizjogr. PAN,* 1.
Kleczkowski A.S. (red.), 1990 – Mapa obszarów Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) w Polsce wymagajacych szczególnej ochrony. IHGIiG AGH Kraków.
Klementiew W.P., Demidowicz L.A., Żumar P.W., 1994 − Wpływ denudacji hałd solnych przedsiębiorstw potasowych na środowisko przyrodnicze. W: Kształtowanie środowiska geograficznego i ochrona przyrody na obszarach uprzemysłowionych i zurbanizowanych, 14, WBiOŚ, WNoZ UŚ, Katowice – Sosnowiec.
Klimaszewski M., 1978 – Geomorfologia. PWN, Warszawa.
Kobędzina J., 1949 – Źródliska rzeki Łyny. *Chroń. Przyr. Ojcz.*, 5, 4−6.
Komoniecki A., 1937 – Dziejopis Żywiecki. Wydał i wstępem poprzedził dr S. Szczotka. I, Żywiec.
Kondracki J., 1994 – Geografia Polski. Mezoregiony fizycznogeograficzne. PWN, Warszawa.
Kondracki J., 1998: – Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa.
Kondracki J., 2000 – Geografia fizyczna Polski. PWN, Warszawa.
Koniar-Schaefer J., 1972 – Teoretyczne podstawy metody obliczania niżówkowych przepływów małych niekontrolowanych cieków karpackich za pomocą regresji przepływu. *Zesz. Nauk. Polit. Krak*., 7.
Kopaliński W., 2001 – Słownik symboli. Ofic. Wyd. Rytm, Warszawa.
Kornaś J., Medwecka-Kornaś A., 1986 – Geografia roślin. PWN, Warszawa.
Kostrakiewicz L., 1965 – Hydrografia Pienin. *Zesz. Nauk. UJ*, 117, *Pr. Geogr*., 12.
Kostrakiewicz L., 1991a – Przemiany stosunków krenologicznych na terenie Pienińskiego Parku Narodowego i strefy otulinowej. *Parki Nar. Rez. Przyr*., 10, 3−4.
Kostrakiewicz L., 1991b – Charakterystyka fizyko-chemiczna oraz bakteriologiczna wybranych źródeł Pienińskiego Parku Narodowego i jego okolicy. *Ochr. Przyr*., 49, 1.
Kostrakiewicz L., 1992 – Typologia źródeł pienińskiego pasa skałkowego i jednostki magurskiej. *Wszechświat*, 93, 3.
Kostrakiewicz L., 1996a – Regionalizacja wskaźnika krenologicznego w polskich Karpatach Zewnętrznych. *Wszechświat*, 97, 10.
Kostrakiewicz L., 1996b – Regionalizacja wskaźnika krenologicznego w polskich Karpatach Wewnętrznych. *Wszechświat*, 97, 3.
Kostrakiewicz L., 1998 – Regionalizacja hydrochemiczna źródeł polskich Karpat Zewnętrznych. *Wszechświat,* 99, 9.
Kostrakiewicz L., 2002 – Charakterystyka fizykochemiczna wód źródła siarczkowego występującego na terenie Pienińskiego Parku Narodowego. *Pieniny – Przyroda i Człowiek*, 7.
Kostrzewski A. (red.), 1981 − Gmina Dziwnów. Monografia geograficzna. Wyd. Stud. Koło Nauk. Geogr. im. S. Pawłowskiego, UAM, Poznań.
Kostrzewski A., Stryjakiewicz T., 1986 − Funkcjonowanie Wolińskiego Parku Narodowego w systemie przyrodniczym i społeczno-ekonomicznym wyspy Wolin. W: A. Kostrzewski (red.) Woliński Park Narodowy. Monografia geograficzna. Wyd. Stud. Koło Nauk. Geogr. im. S. Pawłowskiego, UAM, Poznań.
Kowalski J., 1987 – Hydrogeologia z podstawami geologii. PWN, Warszawa.
Kowalski L., 1920 – Podreglowe źródła północnej strony Tatr. *Spraw. Kom. Fizjogr. PAU*, 53−54.
Kowalski S., 1975 – Źródła poziomu kredowego. *Przew. 47 Zjazdu PTG* w Świdnicy, Wyd. Geol.

Kowalski S., 1983 – Analiza reżimu hydrogeologicznego źródeł Gór Stołowych pod kątem identyfikacji horyzontów wodonośnych. *Współcz. Probl. Hydrogeol*., 2.
Kowalski S., 1986 − Uwagi o krążeniu wód podziemnych na obszarze Kotliny Kamieniogórskiej. *Pr. Nauk. Inst. Geotechn. Wroc.*, 49, *Ser. Konf.*, 21.
Krammer K., 2000 – The genus *Pinnularia*. W: H. Lange-Bertalot (red.) Diatoms of Europe. 1. A.R.G. Gantner Verlag K.G.
Krammer K., 2002 – *Cymbella*. W: H. Lange-Bertalot (red.) Diatoms of Europe. 3. A.R.G. Gantner Verlag K.G.
Krammer K., 2003 – *Cymbopleura, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis, Afrocymbella.* W: H. Lange-Bertalot (red.) Diatoms of Europe. 4. A.R.G. Gantner Verlag K.G.
Krammer K., Lange-Bertalot H., 1986 – *Bacillariophyceae* 1. *Naviculaceae.* W: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heyning, D. Mollenhauer, (red.) Süsswasserflora von Mitteleuropa, 2/1, Veb G. Fischer Verlag, Stuttgart – New York.
Krammer K., Lange-Bertalot H., 1988 – *Bacillariophyceae* 2. *Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae.* W: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heyning, D. Mollenhauer (red.) Süsswasserflora von Mitteleuropa, 2/2, Veb G. Fischer Verlag, Jena.
Krammer K., Lange-Bertalot H., 1991a – *Bacillariophyceae* 3. *Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*. W: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heyning, D. Mollenhauer (red.) Süsswasserflora von Mitteleuropa, 2/3, Veb G. Fischer Verlag, Jena.
Krammer K., Lange-Bertalot H., 1991b – *Bacillariophyceae* 4. *Achnanthaceae*, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema Gesamtliteraturverzeechnis Teil 1–4. W: H. Ettl., J. Gerloff, H. Heyning, D. Mollenhauer (red.) Süsswasserflora von Mitteleuropa, 2/4, Veb G. Fischer Verlag, Stuttgart – Jena.
Krawczyk W., 1999 – Hydrochemia. Ćwiczenia laboratoryjne dla III roku geografii. Wyd. UŚ, Katowice.
Krawczyk W., Pulina M., Tyc A., 1990 – Zmiany położenia zwierciadła i degradacja jakości wód podziemnych w utworach jurajskich regionu olkuskiego, W: Oddziaływanie górnictwa i przeróbki rud cynku i ołowiu na środowisko na przykładzie Olkuskiego Okręgu Rudnego. *Sozol. i Sozotechn.*, 32, *Zesz. Nauk. AGH, Geologia*, Kraków.
Krawczyk W.E., 1992 – Metody terenowej analityki wód krasowych. W: A. Kostrzewski, M. Pulina (red.) Metody hydrochemiczne w geomorfologii dynamicznej, Wybrane problemy. *Pr. Nauk. UŚ*, 1254.
Kryza H., 1983 − Wody podziemne północnej części Masywu Śnieżnika. Współczesne problemy hydrogeologii regionalnej. Wyd. UWr.
Kryza H., 1986 – Zróżnicowanie przestrzenne odpływu podziemnego zlewni sudeckich na przykładzie zlewni Kamienicy (Masyw Śnieżnika). *Pr. Nauk. Inst. Geotechn. Politech. Wrocł.*, 49, *Ser. Konf.*, 21.
Kryza J., 1975 – Zieleniec – źródła Bystrzycy Dusznickiej. *Przewodnik XLVII Zjazdu PTG* w Świdnicy. Wyd. Geol., Warszawa.
Kucharski L., Filipiak E., 1999 – Szata roślinna obszarów źródliskowych środkowej Polski i jej ochrona. W: E. Biesiadka, S. Czachorowski (red.) Źródła Polski. Stan badań, monitoring i ochrona. WSP Olsztyn.
Kuliczkowski A., Lisowska J., 2002 − Problemy infiltracji wód gruntowych do nieszczelnych przewodów kanalizacyjnych. *Aura*, 2.
Kurzątkowska A., 1999 – Stan badań nad występowaniem pluskwiaków wodnych (*Heteroptera*) w źródłach Polski. W: E. Biesiadka, S. Czachorowski (red.) Źródła Polski. Stan badań, monitoring i ochrona. WSP Olsztyn.
Kwiatkowski P., 2001 – Subalpejskie zbiorowiska źródliskowe klasy *Montio-Cardaminetea* Br.-Bl. et R.Tx. Klika et Hadač 1944 em. Zechmeister 1993 w Karkonoszach. W: E. Zenkteler (red.) Botanika w dobie biologii molekularnej. Mat. sesji i symp. 52 Zjazdu PTBot., Poznań.

Lampert W., Sommer U., 2001 – Ekologia wód śródlądowych. PWN, Warszawa.
Lange-Bertalot H., 2001 – *Navicula* sensu stricto, 10 Genera separated from *Navicula* sensu lato, *Frustulia*. W: H. Lange-Bertalot (red.) Diatoms of Europe. 2. A.R.G. Gantner Verlag K.G.
Langguth H.R., 1984 – List of terms of hydrogeology, geochemistry and geothermals of mineral and thermal waters. Internat. Assoc. of Hydrogeologists, Heise, Hannover.
Laukötter G., 2000 – Quelle – Taufe der natur. Martina Galundes-Verlag, Diehl.
Leśniok M., 1996 – Zanieczyszczenie wód opadowych w obrębie Wyżyny Śląsko-Krakowskiej, Wyd. UŚ, Katowice.
Lewandowski K., 1999 – Widelnice (Plecoptera) źródeł okolic Olsztyna. W: E. Biesiadka, S. Czachorowski (red.) Źródła Polski. Stan badań, monitoring i ochrona. WSP Olsztyn.
Lewczyńska D., Wrzesiński D., 1989 − Własności fizyczne i skład chemiczny źródeł zlokalizowanych na odcinku klifu Międzyzdroje-Wisełka. W: A. Kostrzewski (red.) Woliński Park Narodowy. Środowisko przyrodnicze, kształtowanie i ochrona. Monografia geograficzna. Wyd. Stud. Koło Nauk. Geogr. im. S. Pawłowskiego, UAM, Poznań.
Lewicki S., 1913 – Historya Krynicy. Nadbitka z Bibl. UJ.
Liber E., 2005 − Zmiany stanu zachowania obiektów górniczych w okolicach Zagórza Śląskiego – w rejonie nieistniejącej wsi Schlesierthale. *Pr. Nauk. Inst. Górn. Polit. Wrocł*., 111.
Lindacher R., 1995 – Phanart . Datenbank der Gefässpflanzen Mitteleuropas. Erklärung der Kennzahlen, Aufbau und Inhalt. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung, Erich 125.
Lischewski D., 1999 – Ein erster faunistischer Beitrag für einen nordrhein-westfälischen Quellatlas. *Crunoecia*, 6.
Ludian M., 1998 – Ocena stopnia zagrożenia wód podziemnych wybranego fragmentu GZWP o charakterze szczelinowo-porowym na podstawie oceny czasu migracji zanieczyszczeń. Maszynopis. ZHiOW, Wydział GGiOŚ, AGH, Kraków.
Łajczak A., 2000 – Zagrożenia i ochrona źródeł mineralnych na Ponidziu na przykładzie rezerwatu „Owczary", *Chroń. Przyr. Ojcz*., 56, 5.
Łajczak A., 2001 – Źródła mineralne Niecki Nidziańskiej. *Czas. Geogr*., 72, 2.
Łoszewski H., 1995 – Źródła na terenie Białegostoku i potrzeba ich ochrony. *Białostoczyzna*, 4.
Macioszczyk A., 1987 – Hydrogeochemia. Wyd. Geol., Warszawa.
Macioszczyk A. (red.), 2006 − Podstawy hydrogeologii stosowanej. PWN, Warszawa.
Macioszczyk A., Dobrzyński D., 2002 – Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych. PWN, Warszawa.
Macioszczyk A., Grochowski D., Porębska G., 1991 – Zanieczyszczenia antropogeniczne wód źródlanych lewobrzeżnej Warszawy. Współczesne problemy hydrogeologii. Wyd. SGGW-AR. Warszawa.
Maillet E., 1905 − Essais d'hydraulique souterraine et fluviale. Librairie Sci. Hermann Paris.
Majewski J., 1974 – Hydrogeologia – podręcznik. Wyd. Geol. Warszawa.
Maksymiuk Z., 1977 – Wody gruntowe i strefy ich wypływu na powierzchnię w regionie łódzkim. *Zesz. Nauk. UŁ*, II, 5.
Maksymiuk Z., Mela S., 1995 – Źródła Polski środkowej. *Acta Univ.Lodz., Folia Geogr*., 20.
Maksymiuk Z., Moniewski P., 2000 – Hydrologiczna i krajobrazowa rola źródeł małej zlewni w zachodniej części strefy krawędziowej Wzniesień Łódzkich. *Acta Univ. Lodz.*, *Folia Geogr. Phys.*, 5.
Malinowski J., Bocheńska T., Kowalski S., 1988 – Geologiczno-strukturalne i geomorfologiczne podstawy podziału hydrogeologicznego obszaru sudeckiego. *Acta Univ. Wratisl., Pr. Geol.-Min.,* 12.
Małecka D., 1981 − Hydrogeologia Podhala. *Pr. Hydrogeol.*, *Ser. Specj*. Wyd. Geol., Warszawa.
Małecka D., 1985 – Znaczenie badań stacjonarnych w rozpoznaniu reżimu hydrogeologicznego źródeł i wywierzysk krasowych w Tatrach. W: Mat. Symp. „Aktualne problemy hydrogeologii", Kraków – Karniowice. Wyd. AGH, Kraków.

Małecka D., 1996a – Hydrogeologiczna charakterystyka Tatr w świetle badań monitoringowych. W: A. Kotarba (red.) Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego a człowiek, Zakopane.
Małecka D., 1996b – Wpływ Zbiornika Czorsztyńskiego na środowisko wodne obszarów przyległych. W: Konferencja Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, Jachranka 3–5 czerwca 1996, Oficyna Wyd. PW, Warszawa.
Małecka D., 1997a – Zmiany wydajności Niebieskich Źródeł. *Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Phys.*, 2.
Małecka D., 1997b – Źródła Masywu Tatrzańskiego. *Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Phys.*, 2.
Małecka D., Humnicki W., 2001 – Stan rozpoznania hydrogeologicznego Pienińskiego Parku Narodowego. *Współcz. Probl. Hydrogeol.*, 10, 1.
Małecka D., Humnicki W., 2002 – Problemy hydrogeologii i ochrony wód Pienińskiego Parku Narodowego. *Pieniny – Przyroda i człowiek*, 7.
Małecka D., Lipniacka T., 1990 – Sieć hydrogeologicznych obserwacji stacjonarnych na Podhalu – założenia i wstępna interpretacja wyników. *Prz. Geol*., 11.
Małecki J.J., 1998 – Rola strefy aeracji w kształtowaniu składu chemicznego płytkich wód podziemnych wybranych środowisk hydrogeochemicznych. *Biul. PIG*, 381.
Mapa hydrogeologiczna Polski 1:200 000, ark. Kraków 1985 − Inst. Geol., Wyd. Geol., Warszawa.
Mapa topograficzna Polski 1:10 000, ark. Pisary, 1976, PPG-K, Warszawa.
Mapa topograficzna Polski 1:25 000, ark. Międzylesie, 1993, PPG-K, Warszawa.
Mapa turystyczna Kotlina Kłodzka 1:100 000, 1999, Eko-Graf, Wrocław.
Marchacz W., 1960 – Hydrogeologia. Wyd. Geol., Warszawa.
Marszałek H., 1996 − Hydrogeolgia górnej części zlewni Kamiennej w Sudetach Zachodnich. *Acta Univ. Wratisl*., 1881, *Pr. Geol.-Miner*., 54.
Matthess G., Ubell K., 1983 – Lehrbuch der Hydrogeologie. Band 1. Allgemeine Hydrogeologie-Grundwasserhaushalt. Gebr. Borntraeger, Berlin-Stuttgart.
Matuszkiewicz J.M., 1978 – Fitokompleks krajobrazowy – specyficzny poziom organizacji roślinności. *Wiad. Ekol.,* 24, 1.
Matuszkiewicz W., 2005 – Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. PWN, Warszawa.
Matysik M., Molenda T., 1999 − Wstępna charakterystyka hydrograficzna i hydrochemiczna wybranych źródeł na terenie Katowic. W: Górnośląsko-Ostrawski Region Przemysłowy. Wybrane problemy ochrony i kształtowania środowiska. UŚ, Sosnowiec.
Mazurek M., 2000 – Zmienność transportu materiału rozpuszczonego w zlewni Kłudy jako przejaw współczesnych procesów denudacji chemicznej (Pomorze Zachodnie). Wyd. Nauk. UAM, Poznań.
Meinzer O., 1927 − Outline of ground-water hydrology. *USGS Water Supply Paper*, 494.
Michalak J., 2003 – Modele pojęciowe hydrogeologicznych danych geoprzestrzennych – podstawy metodyczne. *Biul. PIG*, 406.
Michalczyk Z., 1979 – Wydajność i mineralizacja wód wybranych źródeł Roztocza Zachodniego. *Biul. LTN*, 21, 2.
Michalczyk Z., 1982 – Charakterystyka hydrogeologiczna dorzecza Łady. W: Z badań hydrogeologicznych w Polsce. *Biul. PIG*, 339.
Michalczyk Z., 1983a – Źródła Sanny w Wierzchowiskach. *Ann. UMCS*, *B*, 35−36.
Michalczyk Z., 1983b – Charakterystyka hydrologiczna źródła w Szczebrzeszynie. *Ann. UMCS, B*, 35−36.
Michalczyk Z., 1986, Warunki występowania i krążenia wód na obszarze Wyżyny Lubelskiej i Roztocza, Wyd. UMCS, Lublin.
Michalczyk Z. (red.), 1993 – Źródła zachodniej części Wyżyny Lubelskiej. Wyd. UMCS, Lublin.

Michalczyk Z. (red.), 1996a – Źródła Roztocza. Monografia hydrograficzna, Badania hydrograficzne w poznawaniu środowiska. Wyd. UMCS, 6.
Michalczyk Z. (red.), 1996b – Źródła województwa lubelskiego. Wydajność i parametry fizykochemiczne w 1996 r., Zakł. Hydrogr. UMCS, WIOŚ w Lublinie, Wydz. Ochr. Środ. Urz. Woj. w Lublinie.
Michalczyk Z. (red.), 1997 – Źródła Wyżyny Lubelskiej i Roztocza, *Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Physica*, 2.
Michalczyk Z., 1999 – Rozmieszczenie i wydajność źródeł Lubelszczyzny. W: E. Biesiadka, S. Czachorowski (red.) Źródła Polski. Stan badań, monitoring i ochrona. WSP Olsztyn.
Michalczyk Z. (red.), 2001 − Źródła Wyżyny Lubelskiej i Roztocza. Wyd. UMCS. Lublin.
Michalczyk Z., Chmiel S., Głowacki S., Zielińska B., 2004 – Zmiany wydajności i chemizmu wód źródeł Wyżyny Lubelskiej i Roztocza. *Ann. UMCS*, *B*., 59.
Michalczyk Z., Rederowa E., 1992 – Charakterystyka hydrologiczna źródeł okolic Zakrzówka, *Ann. UMCS*, *B*, 44−45.
Michalczyk Z., Wilgat T., 1998 – Stosunki wodne Lubelszczyzny. Wyd. UMCS, Lublin.
Michalik A., Drobisz 1982 – Wody mineralne w okolicy Żywca. *Biul. PIG*, 339.
Michniewicz M., Mroczkowska B., Wojtkowiak A., 1987 – Mapa Hydrogeologiczna Polski, 1:200 000, ark. Kłodzko. Wyd. Geol., Warszawa.
Międzynarodowy słownik hydrologiczny, 2001 – PWN, Warszawa.
Migaszewski Z.M., Gałuszka A., 2003 − Zarys geochemii środowiska. Wyd. AŚ, Kielce.
Mikulski J.S., 1974 – Biologia wód śródlądowych. PWN, Warszawa.
Mikulski Z., 1963 – Zarys hydrografii Polski. PWN, Warszawa.
Milicky M., Uhlik J., Kryza J., Kryza H., 2001 – Dokumentacja hydrogeologiczna badań modelowych dla określenia warunków hydrodynamicznych wód podziemnych na obszarze pogranicza Polski i Czech rejonów Kudowa − Police, Krzeszów − Adrspach i Mieroszów. PROGEO s.r.o. Praha, PG Proxima S.A. Wrocław, PPH Aqator sp. z o.o., Wrocław.
Mirek Z., Piękoś-Mirkowa H., Zając A., Zając M., 2002 – Flowering plants and pteridophytes of Poland. A checklist. *Biodiversity of Poland*, 1.
Modelska M., 2004 – Interakcja wód podziemnych i powierzchniowych z środowiskiem skalnym w wybranych zlewniach Sudetów. Maszynopis. Arch. UWr., W-V/4000/Modelska.
Modelska M., Buczyński S., Rzonca B., 2005 − Zależność mineralizacji ogólnej i przewodności elektrolitycznej właściwej wód źródlanych Ziemi Kłodzkiej (Sudety). *Współcz. Probl. Hydrogeol*., 12.
Molenda T., 1999 − Wpływ działalności górniczej na kształtowanie stosunków wodnych (na wybranych przykładach z obszaru GZW). W: Górnośląsko-Ostrawski Region Przemysłowy. Wybrane problemy ochrony i kształtowania środowiska. UŚ, Sosnowiec.
Molenda T., 2002 − Rewitalizacja ekosystemów wodnych w warunkach zróżnicowanej antropopresji. Maszynopis. Kat. Geogr. Fiz. UŚ, Sosnowiec.
Molenda T., 2003 − Antropogeniczne zmiany koryta potoku Sopotnia w Beskidzie Żywieckim Hydrologia Zlewni Górskich, *Zesz. Nauk. Akad. Techn.-Human. w Bielsku-Białej*, 9.
Molenda T., 2005 − Skalne koryto potoku Sopotnia – interesujący obiekt krajobrazowo-dydaktyczny. *Przyroda Górnego Śląska*, 39, *Biul. Centr. Dziedz. Przyr. Górn. Śląsk.*, Katowice.
Molenda T., 2006 − Charakterystyka hydrograficzno-hydrochemiczna wypływów wód odciekowych wybranych składowisk odpadów przemysłowych. *Zesz. Nauk. Polit. Śląsk., Górnictwo*, 272.
Moniewski P., 1997 – Źródła strefy krawędziowej Wyżyny Łódzkiej i ich gospodarcze wykorzystanie. *Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Phys.,* 2.
Moniewski P., 2004 – Źródła okolic Łodzi*, Acta Geogr. Lodz.*, 87.
Moniewski P., 2006 – Terminologia krenologiczna – kłopoty z zastosowaniem. W: P. Moniewski, P. Tomalski (red.) Źródła – środowiskowe aspekty badań. WNG UŁ, Łódź.

Moniewski P., Ziułkiewicz M., 2006 − Użytkowanie źródeł. W: P. Moniewski, M. Ziułkiewicz (red.) Źródła − środowiskowe aspekty badań. WNG UŁ, Łódź.
Moretti G.P., Cianficconi F., Corallini C., 1996 – Caddisflies in Italian springs. *Crunoecia*, 5.
Mroczkowska B., 2000 – Mapa Hydrogeologiczna Polski, 1:50 000, ark. Złoty Stok. PIG, Oddz. Dolnośląski. Wrocław.
Musiał A., 1992 – Studium rzeźby glacjalnej północnego Podlasia. Wyd. UW, Warszawa.
Myers M.J., Resh V.H., 1996 – A preliminary list of cadisflies (*Insecta*: *Trichoptera*) in high desert springs of California. *Crunoecia*, 5.
Natermann E., 1958 – Der Wasserhaushalt des oberen Emsgebietes nach dem AuLinien Verfahren, Min. Ernahr. Landwirtsch. Forsten, Düsseldorf.
Nesterovich A., 1996 – Studies of the fauna of Belarussian springs. *Crunoecia*, 5.
Nowacki F., 2000 − Wody podziemne Wolińskiego Parku Narodowego i jego otuliny. *Klify,* 2002.
Nowak W.A., 1965 – Rzeźba progu kredowego w Niecce Nidziańskiej. *Czas. Geogr.*, 36.
Nowak W.A., 1970 – Rzeźba podczwartorzędowa i ewolucja układu sieci dolinnej w północno środkowej części Wyżyny Małopolskiej. *Pr. Geogr. IG PAN*, 80.
Nowak W.A., 1971 – Kras reprodukowany we wschodniej części Wyżyny Częstochowskiej. *Folia Geogr., Ser. Geogr.-Phys.*, 5.
Nowakowski Cz., 1976 – Charakterystyka wydajności źródeł strefy czołowo-morenowej Pojezierza Suwalskiego. *Biul. Geol. UW*, 21.
Nowicka B., 2002 − Wpływ urbanizacji na warunki odpływu. W: Obieg wody w zmieniającym się środowisku. *Pr. Inst. Geogr. AŚ*, 7.
Ochyra R., 1992 – Czerwona lista mchów zagrożonych w Polsce. W: K. Zarzycki, W. Wojewoda, Z. Heinrich (red.) Lista roślin zagrożonych w Polsce. Inst. Bot. im. W. Szafera, PAN, Kraków.
Ochyra R., Żarnowiec J., Bednarek-Ochyra H., 2003 – Cenzus catalogue of Polish mosses. *Biodiversity of Poland*, 3.
Ochyra R., Żarnowiec J., Bednarek-Ochyra H., 2003, Census Catalogue of Polish Mosses. W. Szafer Institute of Botany, Polish Acad. Sci., Kraków.
Olichwer T., 2003 – Zasoby wodne w obszarach górskich i przedgórskich na przykładzie Masywu Śnieżnika, Gór Bystrzyckich oraz Rowu górnej Nysy Kłodzkiej. Maszynopis. Arch. UWr., W-V/4000/Olichwer.
Olkiewicz A., Puk K., 2003 − Terenowe obserwacje wydajności i cech fizyko-chemicznych źródeł w Wolińskim Parku Narodowym. W: A. Kostrzewski (red.) Woliński Park Narodowy. Monografia geograficzna. Wyd. Stud. Koło Nauk. Geogr. im. S. Pawłowskiego, UAM, Poznań.
Osadowski Z., Fudali E., 2001 – Materiały do brioflory kompleksów źródliskowych dorzecza Parsęty, Cz. I. *Bad. Fizjogr. Pol. Zach.*, *Ser. B*, 50.
Owczinnikow A.M., 1949 – Obszczaja gidrogeołogia. Gosudarstwiennoje Izdawatel'stwo Geołogiczeskoj Literatury, Moskwa.
Ozga - Zielińska M., 1996 − Hydrologia obszarów zurbanizowanych. W: Metody badań wpływu czynników antropogenicznych na warunki klimatyczne i hydrologiczne w obszarach zurbanizowanych. Mat. Konf. Nauk., Katowice.
Paczuska B., 1999 – Okrzemki ze źródła na terenie Wielkopolskiego Parku Narodowego. W: E. Biesiadka, S. Czachorowski (red.) Źródła Polski. Stan badań, monitoring i ochrona. WSP Olsztyn.
Paczyński B., Płochniewski Z., 1996 – Wody mineralne i lecznicze Polski. PIG, Warszawa.
Pakulnicka J., 1999 – Stan badań nad poznaniem chrząszczy wodnych (*Coleoptera aquatica*) źródeł Polski. W: E. Biesiadka, S. Czachorowski (red.) Źródła Polski. Stan badań, monitoring i ochrona. WSP Olsztyn.

Parkhurst D.L., Appelo C.A.J., 1999 – User's guide to PHREEQC (Version 2) – A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. *USGS, Water- Res. Invest. Report*, 99-4259.
Pawlaczyk P., Wołejko L., Jermaczek A., Stańko R., 2001 – Poradnik ochrony mokradeł. Wyd. Lubusk. Klubu Przyrodn., Świebodzin.
Pawlik-Dobrowolski J., 1965 – Uźródłowienie południowej Polski. *Zesz. Nauk. UJ.*, *Pr. Geogr*., 12.
Pawlik-Dobrowolski J., 1976 – Podział odpływu całkowitego na gruntowy i powierzchniowy metodą źródeł reprezentatywnych. *Gosp. Wod*., 11.
Pazdro Z., 1958 – Budowa geologiczna regionu gdańskiego. W: Przew. XXXI Zjazdu PTGeol. w Gdańsku, Gdańsk.
Pazdro Z., 1977 – Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa.
Pazdro Z., 1983 – Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa.
Pazdro Z., Kozerski B., 1990 – Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa.
Peryt T., Jasionowski M., Roniewicz P., Wysocka A., 1998 – Miocen Roztocza. W: Budowa geologiczna Roztocza (100-lecie badań polskich geologów), 59 Zjazd Naukowy PTG w Lublinie, Sesja referatowa i konferencje terenowe, Lublin.
Pietkiewicz S., 1958 – Wody kuli ziemskiej. Wody lądowe. PWN, Warszawa.
Pisarek W., Sawicki J., Szczecińska M. 2002 – Flora roślin naczyniowych i mszaków rezerwatu „Źródła rzeki Łyny im. prof. R. Kobendzy". *Acta Botanica Warmiae et Masuriae,* 2.
Pociask-Karteczka J. (red.), 2003 – Zlewnia. Właściwości i procesy. IGiGP UJ, Kraków.
Podbielkowski Z., Tomaszewicz H., 1979 – Zarys hydrobotaniki. PWN, Warszawa.
Podział Hydrograficzny Polski, cz. I – Zestawienia liczbowo-opisowe. 1983 − H. Czarnecka (red.), WKiŁ, Warszawa.
Podział Hydrograficzny Polski, cz. II, skala 1:200 000. 1980 − H. Czarnecka (red.), Wyd. Geol., Warszawa.
Poleszczuk G., Ziarnek K., 1999 − Hydrochemiczny monitoring wód źródliskowych Gór Bukowych (Szczeciński Park Krajobrazowy). W: E. Biesiadka, S. Czachorowski (red.) Źródła Polski. Stan badań, monitoring i ochrona. WSP Olsztyn.
Pomianowski K., Rybczyński M., Wójcicki K., 1934 – Hydrologia. Cz. II: Wody gruntowe. Kom. Wyd. Tow. Bratniej Pomocy Stud. Polit., Warszawa.
Porowska D., 2004 – Zawartość rozpuszczonego tlenu i dwutlenku węgla w wodach podziemnych wybranych środowisk hyrogeochemicznych. *Monogr. Komit. Gosp. Wod. PAN*, 24.
Projekt architektoniczno-wykonawczy. Tom XIIc. System podczyszczający wody deszczowe wraz z urządzeniami towarzyszącymi, 2002 – GDDKiA, Oddział w Łodzi, (niepubl.).
Projekt bazy danych o źródłach, strona internetowa http://www.hydro.geo.uj.edu.pl/zrodla/, (1.12.2006).
Prussak W., 2002 – Sandr Bukowiny. W: Geologia Regionu Gdańskiego. PIG, Gdańsk.
Przesmycki P., 1921 – Źródła rzek Przemszy Białej i Szreniawy. *Przegl. Górn. i Hutn*., 13.
Puk K., 2003 − Wypływy wód podziemnych w Sierakowskim Parku Krajobrazowym. *Biul. Park. Kraj. Wielkop*., 10, 12.
Pulina M., 1977 – Zjawiska krasowe w Sudetach Polskich. *Dok. Geogr.*, 2−3.
Pulina M. (red.), 1996 – Jaskinie Sudetów. PTPNoZ, Warszawa.
Pulina M., 1999 − Kras. Formy i procesy. Wyd. UŚ, Katowice.
Pusz J.B., 1844 – O temperaturze źródeł w okolicy Warszawy. *Bibl. Warsz*., 3.
Pusz J.B., 1845 – Jeszcze uwag kilka o temperaturze źródeł i powietrza w Krakowie. *Bibl. Warsz.*, 2.
Rabotnow T.A., 1985 – Fitocenologia. Ekologia zbiorowisk roślinnych. PWN, Warszawa.
Rajchel L. 2006 – Occurrences of the carbonated waters in the Polish Carpathians. Proceedings of the 18th Congress of Carpatho-Balkan Geological Association. Belgrade, Serbia.
Rajchel L., 2000 – Źródła wód siarczkowych w Karpatach Polskich. *Geologia*, 26.

Rajchel L., Rajchel J., 1999 – Karpackie źródła wód mineralnych i specyficznych – pomnikami przyrody nieożywionej. *Prz. Geol*., 47.
Rajchel L., Rajchel J., 2005 – Krynica Zdrój – historia uzdrowiska. *Balneologia Polska*, 47, 1−2.
Rajchel L., Zuber A., Duliński M., Rajchel J., 2004 – Występowanie i geneza wód chlorkowych Soli. *Prz. Geol*., 52, 12.
Rakowska B. 1996 – Diatom communities occurring in Niebieskie Źródłą near Tomaszów Mazowiecki, Central Poland (1963−1990). *Fragm. Flor. Geobot*. 41, 2.
Rakowska B. 1997 – Diatom communities in a salt spring at Pełczyska (Central Poland). *Biologia*, 52, 4.
Rederowa E., 1965 – Źródła Bystrzycy Lubelskiej. *Ann. UMCS*, *B*., 18.
Rederowa E., 1971 – Występowanie źródeł na Wyżynie Lubelskiej i w obszarach przyległych. *Prz. Geogr.*, 43, 3.
Robert B., 1996 – Quelltypische Köcherfliegen (Insecta: Trichoptera) in Nordrhein-Westfalen (Deutschaland) – Ein erster Überblich. *Crunoecia*, 5.
Rosłoński R., 1925 – Źródła potoku Szkła. *Posiedz. Nauk. PIG*, 12.
Rozporządzenie Min. Środowiska z dnia 14 sierpnia 2001 r. w sprawie określenia rodzajów siedlisk przyrodniczych podlegających ochronie. Dz. U. 92, 1029.
Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 r. „W sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód". Dz. U. 32, 284.
Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dn. 4 września 2000 r. w sprawie warunków jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarcze, woda w kąpieliskach, oraz zasad kontroli jakości przez organy Inspekcji Sanitarnej. Dz. U. 82, 936 i 937.
Różański K., Żurek A., 2001 – Identyfikacja pochodzenia azotanów w wodach podziemnych na podstawie ich składu izotopowego. *Współcz. Probl. Hydrogeol.*, 10.
Różycki M., 1970 – Stratygraficzno-facjalna klasyfikacja zbiorników wód podziemnych na obszarze Sudetów, *Prz. Geol*., 12.
Różycki S.Z., 1937 – Sprawozdanie z badań geologicznych nad utworami w okolicach Lelowa w północno-wschodniej części arkusza Żarki. *Posiedz. Nauk. PIG*, 68.
Różycki S.Z., 1960 – Czwartorzęd regionu Jury Częstochowskiej i sąsiadujących z nią obszarów. *Przegl. Geol*., 8.
Różycki S.Z., 1982 – Czwartorzęd okolic Lelowa. *Biul. Geol*. *UW*, 26.
Rybak A. [red.], 2002 – Państwowe górnictwo galmanu na terenie Dąbrowy Górniczej w XIX wieku. Muzeum Miejskie „Sztygarka", Dąbrowa Górnicza.
Rzepa G., Rajchel L., 2006 – Skład mineralny osadów wód karpackich typu szczaw. *Gosp. Surowc. Min.*, 22, 3.
Rzonca B., Buczyński S., Kraśnicki S., 2003 – Wody krasowe wybranych obszarów Ziemi Kłodzkiej. *Współcz. Probl. Hydrogeol.*, 11, 1.
Rzonca B., Buczyński S., Makarczuk M., Markiewicz T., Okraj K, Tytłak G., 2004 – Wody w otoczeniu Jaskini Radochowskiej (Góry Złote, Sudety). *Prz. Geol.*, 52.
Rzonca B., Buczyński S., Modelska M., 2005 – Formowanie się składu chemicznego wód źródlanych w otoczeniu Jaskini Radochowskiej w Sudetach. *Współcz. Probl. Hydrogeol.*, 12.
Sienkiewicz R., Twarowski R., 1991 – Ocena stanu zanieczyszczeń województwa wałbrzyskiego w wyniku opadów atmosferycznych. W: J. Derkacz, A. Maćków, M. Woźniak, 1992, Regionalne opracowanie wyników badań hydrogeochemicznych dla oceny stanu zanieczyszczenia wód podziemnych województwa wałbrzyskiego. PG „Proxima" S.A., Wrocław.
Siwek J., 2004 – Źródła w zlewniach Prądnika, Dłubni i Szreniawy. Naturalne i antropogeniczne uwarunkowania jakości wód. Wyd. IGiGP UJ, Kraków

Skórczewski B., 1906 – Historya Krynicy. *Przegląd Zdrojowy*, 3−12.
Sloto R.A., Crouse M.Y., 1996 – HYSEP: A computer program for streamflow hydrograph separation and analysis. *USGS, Water-Resour. Invest. Rep.*, 90-4040.
Słownik hydrobiologiczny, 2002 – PWN, Warszawa.
Słownik hydrogeologiczny, 1997 – Wyd. Trio, Warszawa.
Słownik hydrogeologiczny, 2002 – PIG, Warszawa.
Smólski St., 1960 – Pieniński Park Narodowy. Wyd. Popularnonauk. Zakł. Przyr. PAN, 18. Kraków.
Smólski St., 1982 – Historia ochrony przyrody w Pieninach i jej zadania w obliczu nadchodzących zmian. W: K. Zarzycki (red.) Przyroda Pienin w obliczu zmian. *Stud. Naturae Ser. B*, 30.
Soczyńska U., 1997 − Hydrologia dynamiczna. PWN, Warszawa.
Solińska-Górnicka B., 1987 – Bagienne lasy olszowe (olsy) w Polsce. Regionalna synteza syntaksonomiczna. *Rozpr. UW*, 275.
Starmach K., Wróbel S., Pasternak K., 1976 – Hydrobiologia. Limnologia. PWN, Warszawa.
Staśko S., 1992 − Warunki hydrogeologiczne węglanowych utworów triasu opolskiego. *Pr. Geol.-Miner*., 32.
Staśko S., 1993 – Pojemność wodna skał krystalicznych w wybranych jednostkach górskich Sudetów. *Współcz. Probl. Hydrogeol.*, 6.
Staśko S., 1996 – Wody podziemne w skałach krystalicznych na podstawie badań wybranych obszarów Sudetów polskich. *Pr. Geolog.-Min.*, 53.
Staśko S., 1999 – Wyniki hydrogeologicznych badań skał krystalicznych w Sudetach. *Współcz. Probl. Hydrogeol*., 9.
Staśko S., 2002 – Zawodnienie szczelinowych skał krystalicznych w Sudetach. *Biul. PIG*, 404.
Staśko S., Tarka R., 1993 – Wstępne wyniki badań zasilania wód podziemnych w obszarach górskich Sudetów. *Współcz. Probl. Hydrogeol.*, 6.
Staśko S., Tarka R., 1994 – Wstępne Obliczenia zasobów wód podziemnych w obszarach górskich na przykładzie wybranych zlewni Sudetów. *Zesz. Nauk. AR Wrocław*, 248.
Staśko S., Tarka R., 1995 − Some example of groundwater acidification in the Polish Sudetes. *Informationsberichte des Beyerischen Landesamtes für Wasserwitschaft*., 3, München.
Staśko S., Tarka R., 2002 – Zasilanie i drenaż wód podziemnych w obszarach górskich na podstawie badań w Masywie Śnieżnika. Seria "Hydrogeologia", *Acta Univ. Wratisl.*, 2528.
Stępień M., 2000 – Warunki hydrogeologiczne i jakość wód górskiej części zlewni Ożarskiego Potoku na podstawie badań źródeł (Sudety Środkowe). Maszynopis. Arch. IHiGI Wydz. Geologii, UW.
Stępień M., 2004 – Procesy i warunki hydrogeochemiczne na terenie niecki krzeszowskiej i jej obrzeżenia (Sudety Środkowe). IHiGI UW, Warszawa, (niepubl.).
Stępień M., 2006 – Evolution of the groundwater chemical composition in Krzeszów Trough. 4th Workshop on Hard Rock Hydrogeology of the Bohemian Massif, Jugowice SW Poland. Wrocław, (w druku).
Stępień M., Dobrzyński D., Chmielewska J., 2001 – Ocena wpływu wietrzenia skał podłoża na geochemię wapnia i magnezu w wodach podziemnych zlewni Mąkolnicy i Ożarskiego Potoku (Sudety Wschodnie). *Współcz. Probl. Hydrogeol*., 10.
Stolarska M., 2006 – Sezonowe zmiany podstawowych właściwości hydrochemicznych wód podziemnych w małej zlewni nizinnej. Streszcz. I Ogólnopolskiej Konferencji Geografów – Doktorantów, Lublin, 12−14 czerwca 2006.
Stolarska M., Frątczak J., 2005 – Sezonowa zmienność podstawowych właściwości fizykochemicznych wód w wybranych łódzkich stawach. W: A. T. Jankowski, M. Rzętała (red.) Jeziora i sztuczne zbiorniki wodne. UŚ, Sosnowiec 2005.
Stupnicka E., 1997 – Geologia regionalna Polski. Wyd. UW, Warszawa.

Succow M., 1988 – Landschaftsoekologische Moorkunde. Fischer Verl., Jena.
Sulowska B., 2005 – Zmiany jakości wód podziemnych SW fragmentu GZWP 409 – Niecka Miechowska na podstawie obserwacji w źródłach. Maszynopis. ZHiOW, Wydział GGiOŚ, AGH, Kraków.
Szafer W., 1964 – Dwanaście lat walki o utworzenie Pienińskiego Parku Narodowego. *Chroń. Przyr. Ojcz*., 20, 1.
Szajnocha W., 1891 – Źródła mineralne Galicji, pogląd na ich rozpołożenie, skład chemiczny i powstanie. *Rozprawy AU*, 22.
Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów 1:25000, ark. Duszniki Zdrój., 1992 − PIG, Warszawa.
Szczerbicka M., Meszczyński J., 2002 – Mapa Hydrogeologiczna Polski 1:50 000, ark. Głowno. Min. Środ., Warszawa.
Szpikowski J., Domańska M., Kruszyk R., Szpikowska G., Tylkowski J., 2006 – Aktualny stan i funkcjonowanie wybranych geoekosystemów Polski. Bibl. Monit. Środ., Warszawa (w druku).
Szpikowski J., Michalska G., Kruszyk R., 1998 – Raport Stacji Bazowej Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Storkowie za lata hydrologiczne 1994−1997. W: A. Kostrzewski (red.) Stan geoekosystemów Polski w latach 1994−1997. Bibl. Monit. Środ., Warszawa.
Szymanko J., 1980 – Koncepcja sytemu wodonośnego i metod jego modelowania. Wyd. Geol., Warszawa.
Szymczak M. (red.), 1978 – Słownik języka polskiego. *Tom* III. PWN, Warszawa.
Świdziński H., 1972 – Geologia i wody mineralne Krynicy. *Pr. Geol. PAN*, 70.
Świerz L., 1887 – Ciepłota źródeł i stawów tatrzańskich mierzone w 1876 r. *Pam. Tow. Tatrz.*, 2.
Tarka R., 1993 – Charakterystyka przepływu wód w oparciu o reżim źródeł w skałach krystalicznych masywu Śnieżnika. *Współcz. Probl. Hydrogeol.*, 6.
Tarka R., 1995a – Optymalizacja pomiarów hydrologicznych w wyznaczaniu odpływu podziemnego metodą źródeł reprezentatywnych. *Gosp. Wod*., 3.
Tarka R., 1995b – Sezonowa zmienność zasilania wód podziemnych na obszarze Masywu Śnieżnika. *Współcz. Probl. Hydrogeol.*, 7, 1.
Tarka R., 1997 − Zasilanie wód podziemnych w krystalicznych masywach górskich na przykładzie badań w masywie Śnieżnika. *Acta Univ. Wratisl*., 1964, *Pr. Geol.-Min.*, 56.
Tarka R., 1999 − Przewodnik do ćwiczeń laboratoryjnych i terenowych. Wyd. Ocean, Wrocław.
Tlałka A., Waksmundzki K., 1968 – Wyniki badań źródeł w Polsce Południowej. *Prz. Geogr.*, 40, 2.
Tomalak S., 1968 – Reżim źródeł w dolinie Warty. *Pr. Wydz. BNZ, Geologia,* 7, UAM.
Tomaszewski C., 1972 – Fauna Niebieskich Źródeł – chruściki. *Zesz. Nauk. UŁ*, II, 46.
Tomaszewski E., 2001 – Sezonowe zmiany odpływu podziemnego w Polsce w latach 1971–1990. *Acta Geogr. Lodz.*, 79.
Tomaszewski J., 1996 – Badania naturalnych wypływów wód podziemnych. W: M. Gutry-Korycka, H. Werner-Więckowska (red.) Przewodnik do hydrograficznych badań terenowych. PWN, Warszawa.
Tomaszewski J.T., 1970 – Młaki górskie. *Czas. Geogr.*, 41, 4.
Tomaszewski J.T., 1971 – Niektóre zagadnienia dotyczące klasyfikacji w krenologii. *Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr.*, 29.
Tomaszewski J.T., 1977 – Charakterystyka krenologiczna masywu krystalicznego na przykładzie Karkonoszy. *Acta Univ. Wrat.*, 358, *St. Geogr.*, 28.
Tomaszewski J.T., 1983 − Cechy wód podziemnych i warunków krenologicznych górskich obszarów krystalicznych Sudetów. W: Współczesne problemy hydrogeologii regionalnej. Wyd. UWr.

Tomaszewski J.T., 1989 – Kształtowanie się wód podziemnych w pokrywach zwietrzelinowych górskich obszarów Sudetów. Mat. Konf. „Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski", Wrocław. *Pr. Nauk. Inst. Geotech. Politech. Wrocł*., 58, *Ser. Konf*., 29.
Tomaszewski J.T., 1996 – Badanie naturalnych wypływów wód podziemnych. W: M. Gutry-Korycka, H. Werner-Więckowska (red.) Przewodnik do hydrograficznych badań terenowych. PWN, Warszawa.
Torosiewicz T., 1849 – Źródła mineralne w Królestwie Galicyi i na Bukowinie. Inst. Narod. Ossolińskich, Lwów.
Trybała M., 1996 − Gospodarka wodna w rolnictwie. PWRiL, Warszawa.
Trzciński W. (red.), 1989 – Systematyka gleb Polski. *Roczn. Gleb*., 40, 3−4.
Turoboyski L., 1979 – Hydrobiologia techniczna. PWN, Warszawa.
Urban J., 1990 – Ochrona obiektów przyrody nieożywionej w Krainie Gór Świętokrzyskich,. *Roczn. Święt*., 17.
Van Dam H., Mertens A., Sinkeldam J., 1994 – A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Nertherlands. *Nether. Jour. of Aquatic Ecol*., 28, 1.
Verdonschot F.M., 1996 – Towards ecological spring management. *Crunoecia*, 5.
Waksmundzki K., 1971a – Typologia naturalnych wypływów wody podziemnej w górskich obszarach fliszowych. *Prz. Geogr.*, 43, 3.
Waksmundzki K., 1971b – Zmienność naturalnych wypływów wody podziemnej w górskich obszarach fliszowych. *Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr.*, 29.
Walczak W., 1956 – Największa jaskinia Sudetów. *Wszechświat*, 6.
Walisch M., 2003 – Wpływ warunków fizycznogeograficznych na obieg wody w małych zlewniach regionu łódzkiego. Maszynopis. Prac. Ochr. Jakości Wód, WNG, UŁ, Łódź.
Węcławik S., 1967 – Mineral waters in the region of the Polish-Czechoslovakian state boundary (Carpathians). *Bull. Acad. Pol. Sc., Sér. Sci. Terre*, 15.
Wieczysty A., 1970 – Hydrogeologia inżynierska. PWN, Warszawa – Kraków.
Wieczysty A., 1982 – Hydrogeologia inżynierska. PWN, Warszawa – Kraków.
Wilgat T., 1968 – Przeglądowa mapa hydrograficzna województwa lubelskiego. *Ann. UMCS*, *B*, 20.
Wilkoń-Michalska J., 1963 – Halofity Kujaw. *Stud. Sci. Torun., sec. D* (*Botanica*), 7, 1.
Williams D.D., Williams N.E., 1996 – Springs and spring faunas in Canada. *Crunoecia*, 5.
Williams N.C., 1991 – Geographical and environmental patterns in caddisfly (*Trichoptera*) assemblages from coldwater springs in Canada. *Mem. Ent. Soc. Can*., 155.
Wiśniewski W., 1998 – Lecznicze źródełka w miejscach sakralnych. Wyd. Inst. Teolog. Księży Marianów, Kraków.
Wit K., Ziemońska Z., 1960 – Hydrografia Tatr Zachodnich. Objaśnienia do Mapy Hydrograficznej Tatry Wysokie, w skali 1:50 000. *Dok. Geogr.*, 5.
Witczak S., Adamczyk A., 1995 – Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metody ich oznaczania. Bibl. Monit. Środ., Warszawa.
Witkowski Z.J., 2003 – Dlaczego chronimy Pieniny. Rozważania z okazji 70-lecia utworzenia pierwszego w Europie i drugiego w świecie międzynarodowego parku narodowego. *Pieniny – Przyroda i Człowiek*, 8.
Wojtal A., 2006 − Źródła Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej jako ostoje różnorodności glonów: okrzemki (*Bacillariophyceae*). W: P. Moniewski, P. Tomalski (red.) Źródła – środowiskowe aspekty badań. WNG UŁ, Łódź.
Wojtkowiak A., 2000 − Reżim źródeł obszarów krystalicznych Sudetów Zachodnich. *Biul. PIG*, 390.
Wojtoń A., 1998 – Jaskinia Radochowska. *Jaskinie*, 3, 10.
Wokroj J., 1967 – Zastosowanie analogii w obliczeniach hydrologicznych. *Gosp. Wod*., 6.

Wołejko L., 1999 – Ekosystemy źródliskowe w odniesieniu do systemu siedlisk mokradłowych. W: E. Biesiadka, S. Czachorowski (red.) Źródła Polski. Stan badań, monitoring i ochrona. WSP Olsztyn.
Wołejko L., 2000 – Dynamika fitosocjologiczno-ekologiczna ekosystemów źródliskowych Polski północno-zachodniej w warunkach ekstensyfikacji rolnictwa. *Rozpr. AR w Szczecinie*, 195.
Wskazówki metodyczne dotyczące tworzenia regionalnych i lokalnych monitoringów wód podziemnych, 1995 − Bibl. Monit. Środ., PIOŚ, Warszawa.
Wundt W., 1953 – Gewässerkunde. Springer, Berlin.
Wytyczne Techniczne GIS-3. Mapa Hydrograficzna Polski, w skali 1:50 000, w formie analogowej i numerycznej., 2005 − GUGiK, Warszawa.
Załuski T., Gawenda D., 1999 – Różnorodność szaty roślinnej młak źródliskowych w okolicach Górzna. *Folia Univ. Agric. Stetin*., 197, *Agricultura*, 75.
Zarzycki K., Szeląg Z., 2006 – Red list of the vascular plants in Poland. W: Z. Mirek, K. Zarzycki, W. Wojewoda, Z. Szeląg (eds.) Red list of plants and fungi in Poland. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Science, Kraków.
Zarzycki K., Trzcińska-Tacik H., Różański W., Szeląg Z., Wołek J., Korzeniak U., 2002 – Ecological indicator values of vascular plants of Poland. *Biodiversity of Poland*, 2.
Zejszner L., 1844 – O temperaturze źródeł tatrowych i pasm przyległych. *Bibl. Warsz.*, 2.
Zejszner L., 1860 – O temperaturze źródeł w dolinie Ojcowa. *Bibl. Warsz.*, 1.
Zieleniewski M., 1874 – Pogląd na rozwój Zakładu Zdrojowego w Krynicy w ciągu ubiegłych lat siedemnastu (1857−1873). Druk. Leona Paszkowskiego, Kraków.
Ziemońska Z., 1960 – Związek temperatury źródeł morenowych z wysokością ich występowania na północnych stokach Tatr Zachodnich. *Prz. Geogr.*, 32, 3.
Ziułkiewicz M., 2000 – Jakość czwartorzędowych wód źródlanych w środkowej Polsce i jej antropogeniczne zagrożenie na przykładzie doliny Mrogi. W: J. Burchard (red.) Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce. Tom I. Wyd. UŁ, Łódź.
Ziułkiewicz M., 2005 – Przyczyny zmienności chemizmu źródeł strefy krawędziowej Wzniesień Łódzkich. *Współcz. Probl. Hydrogeol.*, 12.
Ziułkiewicz M., Hereźniak J., Hereźniak-Ciotowa U., Burchard J., 1998 – Dokumentacja projektowa Zespołu Przyrodniczo-Krajobrazowego Rochna. Arch. Wydz. Ochr. Środ. i Roln. Łódzk. Urz. Woj., (niepubl.).
Ziułkiewicz M., Hereźniak J., Hereźniak-Ciotowa U., Burchard J., 2006 – Hydrochemiczna charakterystyka wód źródlanych zlewni Dzierżąznej. W: J. Burchard, M. Ziułkiewicz (red.) Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce. Tom IV. Jakość wód zlewni Dzierżąznej. Wyd. UŁ, Łódź, (w druku).
Ziułkiewicz M., Żelazna-Wieczorek J., – Wpływ warunków hydrogeologicznych na florę okrzemek źródeł w strefie krawędziowej Wzniesień Łódzkich. W: Materiały Ogólnopolskiej Konferencji ECOSTATUS., Bibl. Monit. Środ. GIOŚ, Wyd. UŁ, Łódź. (w druku)
Ziułkiewicz M., Żelazna-Wieczorek J., 2005 – Sprawozdanie merytoryczne z dotowanego zadania badawczego „Degradacja jakości wód źródlanych w strefie projektowanego węzła a zagrożenie naturalnych zbiorowisk glonów". Arch. WFOŚiGW w Łodzi, (niepubl.).
Zollhöfer J., 1996 – Regionalne Quelltypologie für Jura und Mittelland in der Schweiz. *Crunoecia*, 5.
Zuber A., 1986 – Mathematical models for the interpretation of environmental radioisotopes in groundwater systems. W: P. Fritz, J. Ch. Fo (eds.) Handboock of Environmental Isotope Geochemistry.
Zuber A., Ciężkowski W., 1999 – Parametry systemów wód podziemnych w Górach Bystrzyckich. *Współcz. Probl. Hydrogeol.*, 9.
Żelazna-Wieczorek J., Mamińska M., 2006 – Algoflora and vascular flora of limestone spring in the Warta river valley. *Acta Soc. Bot. Pol*., 75, 2.

Żelazna-Wieczorek J., Ziułkiewicz M., 2004 – Algae communities in springs of Łódź Hills scarp with diversified hydrochemical conditions. Teka Kom. Ochr. i Kształt. Środ. Przyr, PAN I. Lublin.
Żelazna-Wieczorek J., Ziułkiewicz M., 2006 – *Hildenbrandia rivularis* (*Rhodophyta*) in Central Poland. *Acta Soc. Bot. Pol*. (w druku).
Żelazny M. (red.), 2005 – Dynamika związków biogennych w wodach opadowych, powierzchniowych i podziemnych w zlewniach o różnym użytkowaniu na Pogórzu Wiśnickim. IGiGP, UJ, Kraków.
Żmudziński L., 1997 – Hydrobiologia – życie wód słodkich i morskich. WSP, Słupsk.
Żurek A., 2002 – Azotany w wodach podziemnych. *Biul. PIG*, 400.
Żytko K. (red.), 1988 – Map of the tectonic elements of the Western Outer Carpathians and their Foreland. Wyd. Geol., Warszawa.



Fot. 3.4.1. Źródła „Pulsujące” należą do najwydajniejszych i najbardziej atrakcyjnych krajobrazowo źródeł w zlewni Białki Lelowskiej (D. Absalon)
Phot. 3.4.1. The „Pulsujące” springs have one of the highest yields and are the most visually interesting springs in the Białka Lelowska catchement basin (D. Absalon)



Fot. 3.4.2. „Szczelina” - najbardziej spektakularne źródło w zlewni Białki Lelowskiej (D. Absalon)
Phot. 3.4.2. „Szczelina” - the most spectacular spring in the Białka Lelowska catchment basin (D. Absalon)



Fot. 4.5.1. Elementy systemu odwadniania odcinka autostrady A2 w pobliżu niszy źródliskowej Ciosny - zbiornik z chłonnym dnem (M. Ziułkiewicz)
Phot. 4.5.1. Elements of the A2 highway draining system near to the spring niche in Ciosny - reservoir for precipitation effluents with absorptive bottom (M. Ziułkiewicz)



Fot. 4.5.2. Elementy systemu odwadniania odcinka autostrady A2 w pobliżu niszy źródliskowej Ciosny - rów doprowadzający ścieki opadowe (M. Ziułkiewicz)
Phot. 4.5.2. Elements of the A2 highway draining system near to the spring niche in Ciosny - drainage ditch (M. Ziułkiewicz)



Fot. 4.8.5. Wytrącenia ochry żelaznej w strefie źródeł żelazistych w dolinie Sopotu. Ziołorośla zespołu lepiężnika białego *Petasitetum albi* (B. Czarnecka)
Phot. 4.8.5. Sedimentation of iron ochra in a zone of ferruginous springs in the Sopot river valley. Macroforbes of the association *Petasitetum albi* (B. Czarnecka)



Fot. 4.8.6. Lepiężnik biały *Petasites albus* stan rośliny późną jesienią (B. Czarnecka)
Phot. 4.8.6. White butterbur *Petasites albus* plant's state in late autumn (B. Czarnecka)



Fot. 4.8.7. Płat potocznika wąskolistnego *Berula erecta* w wartkim nurcie Jelenia (B. Czarnecka)
Phot. 4.8.7. A patch of *Berula erecta* in a rapid current of the Jeleń river (B. Czarnecka)



Fot. 4.8.8. Roślinność zespołu *Cardamino-Beruletum erecti* w górnym biegu Jelenia (B. Czarnecka)
Phot. 4.8.8. Vegetation of the association *Cardamino-Beruletum erecti* in the upper course of the Jeleń river (B. Czarnecka)



Fot. 4.8.9. Zimozielone pędy potocznika wąskolistnego *Berula erecta* w dolnym biegu Jelenia (B. Czarnecka)
Phot. 4.8.9. Evergreen shoots of *Berula erecta* in the lower course of the Jeleń river (B. Czarnecka)



Fot. 4.8.10. Wygasanie roślinności zimozielonej w wolnym nurcie dolnego biegu Jelenia (B. Czarnecka)
Phot. 4.8.10. The cessation of evergreen vegetation in a slow current of the lower course of the Jeleń river (B. Czarnecka)



Fot. 4.8.11. Łęg źródliskowy *Fraxino-Alnetum* wzdłuż odpływu ze źródeł zawieszonym w największej z lewobrzeżnych bocznych dolin Sopotu (B. Czarnecka)
Phot. 4.8.11. Spring form of riparian forest *Fraxino-Alnetum* along the outflow from the suspended springs in the biggest among the left-side valleys of the Sopot river (B. Czarnecka)



Fot. 4.8.12. Łęg źródliskowy *Fraxino-Alnetum* z dominacją wietlicy samiczej *Athyrium filix-femina* w warstwie zielnej w dolinie Szumu poniżej strefy progów (B. Czarnecka)
Phot. 4.8.12. Spring form of riparian forest *Fraxino-Alnetum* with dominance of *Athyrium filix-femina* in herb layer in the Szum river valley below the rock fault zone (B. Czarnecka)



Fot. 4.8.1. Źródło żelaziste w dolinie Sopotu. Płat zbiorowiska rzeżuchy gorzkiej i śledziennicy skrętolistnej *Cardamine amara-Chrysosplenium alternifolium* (B. Czarnecka)
Phot. 4.8.1. Ferruginous spring in the Sopot river valley. A patch of the community *Cardamine amara-Chrysosplenium alternifolium* (B. Czarnecka)



Fot. 4.8.2. Źródło żelaziste w dolinie Jelenia. Płat zespołu rzeżuchy gorzkiej i potocznika wąskolistnego *Cardamino (amarae)-Beruletum erecti* (B. Czarnecka)
Phot. 4.8.2. Ferruginous spring in the Jeleń river valley. A patch of the association *Cardamino (amarae)-Beruletum erecti* (B. Czarnecka)



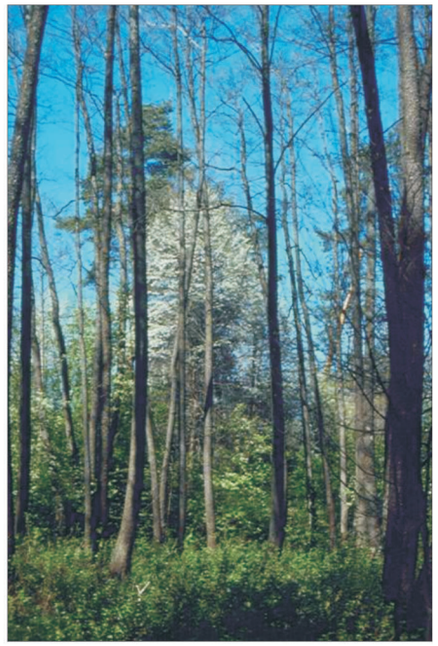
Fot. 4.8.3. Źródło żelaziste w dolinie Jelenia. Płat zespołu manny fałdowanej *Glycerietum plicatae* (B. Czarnecka)
Phot. 4.8.3. Ferruginous spring in the Jeleń river valley. A patch of the association *Glycerietum plicatae* (B. Czarnecka)



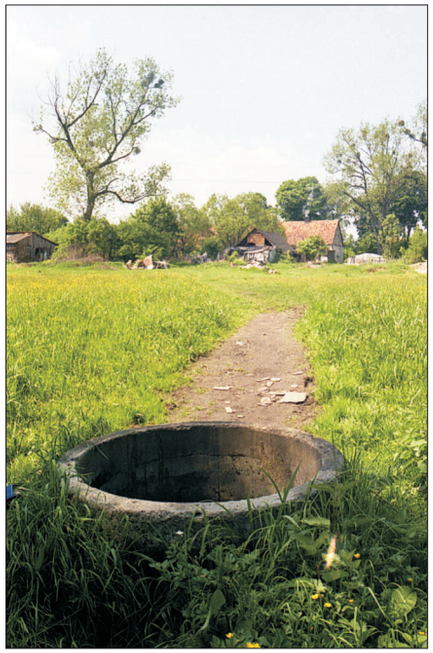
Fot. 4.8.4. Kredowe źródlisko Jelenia w Suścu-Skwarkach. Ziołorośla zespołu wierzbownicy kosmatej i trędownika skrzydlastego *Calystegio-Epilobietum hirsuti* (B. Czarnecka)
Phot. 4.8.4. The Cretaceous vauclusian spring of the Jeleń river in Susiec-Skwarki. Macroforbes of the association *Calystegio-Epilobietum hirsuti* (B. Czarnecka)



Fot. 4.8.13. Ols źródliskowy *Ribeso nigri-Alnetum* na zawieszonym torfowisku węglanowym w dolinie Jelenia (B. Czarnecka)
Phot. 4.8.13. Spring form of bog-alder forest *Ribeso nigri-Alnetum* on the suspended carbonate peatbog in the Jeleń river valley (B. Czarnecka)



Fot. 4.8.14. Ols źródliskowy *Ribeso nigri-Alnetum* z dominacją porzeczki czarnej *Ribes nigrum* w warstwie krzewów w dolinie Potoku Łosiniec-kiego (B. Czarnecka)
Phot. 4.8.14. Spring form of bog-alder forest *Ribeso nigri-Alnetum* with a dominance of black current *Ribes nigrum* in the Łosiniecki Stream valley (B. Czarnecka)



Fot. 4.9.1. Położenie źródła „Dobieszków względem najbliższego gospodarstwa (M. Ziułkiewicz)
Phot. 4.9.1. Position of the „Dobieszków" spring against the closest farm (M. Ziułkiewicz)



Fot. 4.9.2. Zmiana zagospodarowania badanego obszaru źródliskowego z przeznaczeniem na zbiornik rekreacyjno-hodowlany. Zaznaczono miejsce wcześniejszego położenia źródła „Dobieszków" (M. Ziułkiewicz)
Phot. 4.9.2. Change of the researched spring area management into recreation-fish-breeding reservoir. There was marked the earlier position of the „Dobieszków" spring (M. Ziułkiewicz)

Fot. 5.2.1. Źródło „Warzelniane" z solanką w Soli koło Żywca (L. Rajchel)
Phot. 5.2.1. The salt spring „Warzelniane" in Sól near Żywiec (L. Rajchel)





Fot. 5.2.2. Źródło wody siarczkowej „Jacek" w Lipnicy na Orawie (L. Rajchel)
Phot. 5.2.2. The sulphurous in Lipnica in Orawa (L. Rajchel)

Fot. 5.2.3. Bakterie siarkowe w wodzie źródła „Jacek" (L. Rajchel)
Phot. 5.2.3. The sulphuric bacteria in water of the spring „Jacek" (L. Rajchel)





Fot. 5.2.4. Źródło szczawy w dolinie Muszynki w Tyliczu (L. Rajchel)
Phot. 5.2.4. The sprig with carbonated water in the Muszynka valley in Tylicz (L. Rajchel)



Fot. 5.2.5. Źródło siarczkowe „Pawel" w Polichtach koło Ciężkowic widoczne bakterie siarkowe (L. Rajchel)
Phot. 5.2.5. The sulphurous spring „Pawel" in Polichty near Ciężkowice sulphuric bacteria visible (L. Rajchel)



Fot. 5.2.6. Źródło „Słotwinka" w Krynicy pijalnia (L. Rajchel)
Phot. 5.2.6. The spring „Słotwinka" in Krynica the pump room (L. Rajchel)



Fot. 5.2.7. Źródło „Jan" w Krynica pijalnia (L. Rajchel)
Phot. 5.2.7. The spring "Jan" in Krynica the pump room (L. Rajchel)



Fot. 5.2.8. Źródło „Tytus", „Klaudia" i „Celestyna" w Rymanowie pijalnia (L. Rajchel)
Phot. 5.2.8. The springs „Tytus", „Klaudia" and „Celestyna" in Rymanów pump room (L. Rajchel)

Ryc. 4.9.6. Zbiorowiska okrzemek źródła „Dobieszków"; 1 - czerwiec 2003, 2 - kwiecień 2005, 3 - maj 2004, 4 - lipiec 2004 (J. Żelazna-Wieczorek)
Fig. 4.9.6. Diatoms communities in „Dobieszków" spring; 1 - June 2003, 2 - April 2005, 3 - May 2004, 4 - July 2004 (J. Żelazna-Wieczorek)



Fot. 5.2.9. Źródło „Zdrój” w Wierchomli (L. Rajchel)
Phot. 5.2.9 The spring „Zdrój” in Wierchomla (L. Rajchel)



Fot. 5.2.10. Źródło „Zdrój Główny” w Krynicy (L. Rajchel)
Phot. 5.2.10. The spring „Zdrój Główny” in Krynica (L. Rajchel)

Fot. 5.2.11. Źródło „Bełkotka” w Iwoniczu z popiersiem Wincentego Pola i strofami wiersza (L. Rajchel)
Phot. 5.2.11. The spring „Bełkotka” in Iwonicz with monument of Wincenty Pol and a fragment of poem (L. Rajchel)





Fot. 5.2.12. Źródło „Zatopione” w Złockiem (L. Rajchel)
Phot. 5.2.12. The spring „Zatopione” in Złockie (L. Rajchel)



Fot. 5.2.16b. Źródła wody siarczkowej „Rogaś” w Roztoce Rycerskiej (L. Rajchel)
Phot. 5.2.16b. The sulphurous springs „Rogaś” (b) in Roztoka Rycerska (L. Rajchel)

Fot. 5.2.17. Źródło „Łomniczanka” w Łomnicy (L. Rajchel)
Phot. 5.2.17. The spring „Łomniczanka” in Łomnica





Fot. 5.2.18a. Źródło „Rudawka” w Wierchomli (L. Rajchel)
Phot. 5.2.18a. The spring „Rudawka” in Wierchomla (L. Rajchel)

Fot. 5.2.18b. Pokrywa ochronna na drodze odpływu ze źródła „Rudawka” w Wierchomli (L. Rajchel)
Phot. 5.2.18b. The protective cover on the spring „Rudawka” in Wierchomla effluent (L. Rajchel)





Fot. 5.5.1. Pomnik przyrody „Wywierzyska w Strzemieszycach Wielkich" (W. Smolarek)
Phot. 5.5.1. Nature monument „Karst springs in Strzemieszyce Wielkie" (W. Smolarek)



Fot. 5.6.1. Niebieskie Źródła k. Tomaszowa Mazowieckiego (zlewnia Pilicy) (J. Urban)
Phot. 5.6.1. „Niebieskie Źródła" springs near Tomaszów Mazowiecki (Pilica-river basin) (J. Urban)



Fot. 5.6. 2. Źródło „Jordan" w Ściborzycach (zlewnia Dłubni) pomnik przyrody nieożywionej (M. Baścik)
Phot. 5.6.2. „Jordan" spring in Ściborzyce (Dłubnia-river basin) monument of abiotic nature (M.Baścik)



Fot. 5.2.13. Źródło „Bulgotka" w Złockiem (L. Rajchel)
Phot. 5.2.13. The spring „Bulgotka" in Złockie (L. Rajchel)



Fot. 5.2.14. Ekshalacja „Dychawka" w Złockiem (L. Rajchel)
Phot. 5.2.14. Exhalation „Dychawka" in Złockie (L. Rajchel)



Fot. 5.2.15. Źródło wody siarczkowej „Anna" w Barcicach (L. Rajchel)
Phot. 5.2.15. The sulphurous spring „Anna" in Barcice (L. Rajchel)



Fot. 5.2.16a. Źródła wody siarczkowej „Katarzyna" w Roztoce Rycerskiej (L. Rajchel)
Phot. 5.2.16a. The sulphurous springs „Katarzyna" in Roztoka Rycerska (L. Rajchel)