

ZMIANY GŁÓWNYCH PARAMETRÓW EKSPLOATACYJNYCH WÓD LECZNICZYCH Z WYBRANYCH UZDROWISK ZIEMI KŁODZKIEJ JAKO SKUTEK ANOMALNYCH OPADÓW W LATACH 1997–1998

CHANGES IN THE MAIN EXPLOITATION PARAMETERS OF THE MEDICINAL WATER FROM SELECTED SPAS IN THE KŁODZKO LAND DUE TO EXTREMELY HIGH PRECIPITATION IN 1997–1998

BARBARA KIELCZAWA¹, MARTA KRAWCZYK¹

Abstrakt. Prezentowane w artykule wyniki analiz obejmują wody lecznicze ze złóż w Kudowie-Zdroju, Polanicy-Zdroju i Dusznikach-Zdroju. Do badań korelacyjnych wykorzystano wyniki obserwacji stacjonarnych (przede wszystkim z okresu 1995–1999) parametrów eksploatacyjnych z poszczególnych ujęć. W większości ujęć, po opadach 1997 i 1998 r., nastąpił wzrost stężeń jonów wodorowęglanowych, temperatury wód na wypływach oraz wydajności ujęć. Zaznaczył się także spadek ilości CO₂. W nielicznych ujęciach zaobserwowano zmienność sezonową temperatury wody, niezależną od wspomnianych opadów. W Kudowie-Zdroju (ujęcie K-200), bez względu na wielkość opadów, następowało onizanie się CO₂ i wydajności studni. Krótkotrwałe zmiany po opadach mogą potwierdzać hipotezę o mieszananiu się w strefach drenażu wód systemu głębokiego krążenia z wodami współczesnej infiltracji. Intensywne opady z lat 1997–1998 w parametrach wód leczniczych nie powodowały istotnych (nieodwracalnych) zmian.

Słowa kluczowe: wody lecznicze, powódź, Ziemia Kłodzka.

Abstract. The article presents the results of variability analysis of exploitation parameters of medicinal water from Kudowa Spa, Duszniki Spa and Polanica Spa. The results of observation of exploitation parameters (mainly from the period 1995–1999) made by the Geological Survey were used to study correlations. Due to heavy rains in July 1997 (and 1998), the temperature of water, discharge of wells and concentration of HCO₃ ions increased. A decrease in CO₂ concentration was also observed. The damages in spa areas caused by the 1997–1998 rainfall did not result in significant (irreversible) changes in the water parameters.

Key words: medicinal water, a flood, the Kłodzko Land.

WSTĘP

Obszar Ziemi Kłodzkiej na przestrzeni wieków wielokrotnie był nawiedzany przez powódzie. Z uwagi na zmiany, jakie zaszły w korycie Nysy Kłodzkiej, dolinie tej rzeki i na terenach przyległych oraz w całej zlewni, dziś trudno jest szacować wielkość zaistniałych wówczas zjawisk lub porównywać je z procesami zachodzącymi współcześnie.

Spośród bez mała siedemdziesięciu udokumentowanych, dziś do największych zalicza się powódzie z lat: 1310, 1598,

1783, 1854, 1883, 1903, 1938, 1997 i 1998. Hydrologiczne i meteorologiczne sieci obserwacyjne założone pod koniec XIX w. pozwoliły na dokładne udokumentowanie występujących wezbrań i powodzi. W XX wieku największe powódzie zanotowano w latach 1903, 1907, 1938, 1952, 1997 i 1998. Powódzie z lat 1997 i 1998 były niewątpliwie najdotkliwsze dla regionu.

¹ Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

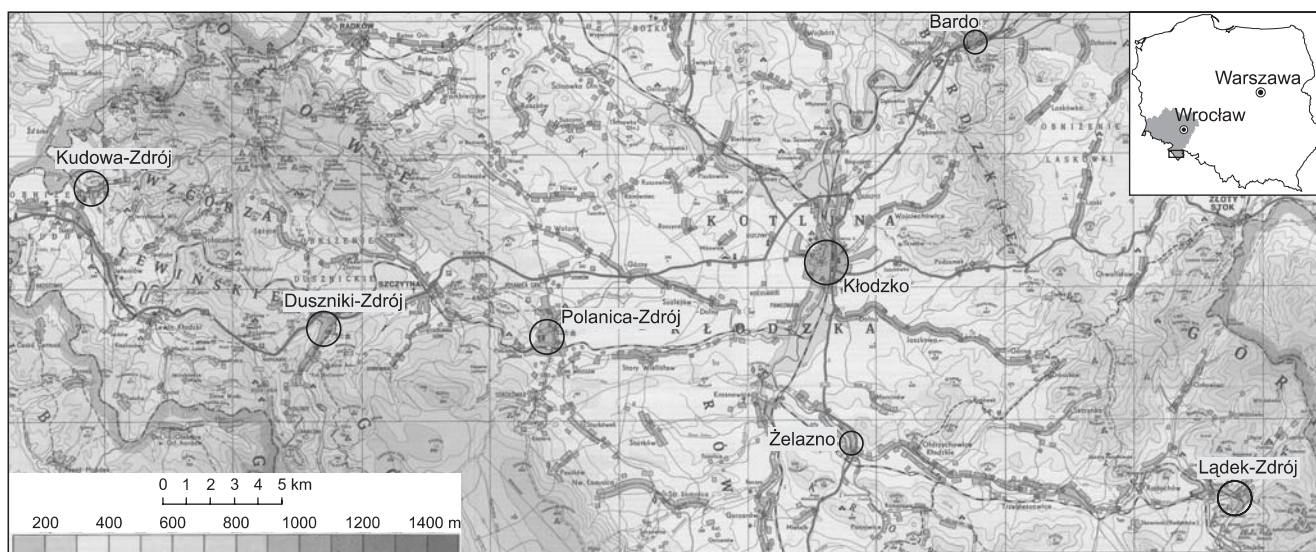


Fig. 1. Wycinek mapy topograficznej z lokalizacją uzdrowisk (na podstawie Szymanek, Skórkowska-Szopa, 1995)

Section of the topographical map with location of health resorts (after Szymanek, Skórkowska-Szopa, 1995)

Bezpośrednią przyczyną powodzi w 1997 r. były opady atmosferyczne, które rozpoczęły się 5 lipca i trwały nieprzerwanie przez 60–70 godzin. Wyjątkowo nawalne deszcze wystąpiły na obszarze gór Złotych, Białskich i Masywu Śnieżnika (Dubicki i in., 1999). Maksymalne godzinowe natężenie deszczu (26,7 mm) zaobserwowano w stacji opadowej w Stroniu Śląskim.

W Kłodzku kulminacyjny przepływ wynosił 1340 m³/s (4 lipca było to 100 m³/s). Tego samego dnia w Bardzie przepływ maksymalny wynosił 1790 m³/s. Na Białej Łądeckiej, w Żelaźnie, w okresie od 4 do 7 lipca stan wody wzrósł od około 40 do 430 cm. W dniach między 15 a 23 lipca wystąpiła następna seria opadów, która wywołała drugą falę powodziową.

Latem 1998 r. na obszarze Ziemi Kłodzkiej, szczególnie w jej zachodniej części, ponownie wystąpiły stany powodziowe, które wywołały porównywalne (a w Polanicy nawet większe) zniszczenia jak powódź rok wcześniej (Krawczyk, 2008).

Prezentowane wyniki analiz obejmują wody lecznicze ze złóż w Kudowie-Zdroju, Polanicy-Zdroju i Dusznikach-Zdroju (fig. 1). Do badań korelacyjnych wykorzystano udostępnione przez uzdrowskowie służby geologiczne wyniki obserwacji stacjonarnych (głównie z okresu 1995–1999) parametrów eksploatacyjnych z poszczególnych ujęć. Liczba danych z Łądko-Zdroju i Długopola-Zdroju (z rozpatrywanego okresu) nie pozwoliła na przeprowadzenie szczegółowej analizy.

WPLYW OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH NA WYDAJNOŚCI UJEĆ

Anomalnie wysoki opad atmosferyczny powoduje nienaturalnie wysoki wzrost poziomu wód powierzchniowych i w konsekwencji podniesienie zwierciadła wód podziemnych. Zjawiska te bezpośrednio wpływają na złoża wód leczniczych, szczególnie w sytuacjach kiedy wody te udostępniane są źródłami lub płytkimi studniami (Ciężkowski, Rosińska-Wilczek, 1997). Konsekwencją wzmożonych lub długotrwałych opadów jest najczęściej wzrost wydajności ujęć wód podziemnych. Jednak określenie wpływu opadów na reżim wód leczniczych, pochodzących w przewodzie z systemu głębokiego krążenia, jest utrudnione. Reakcja złoża na bezpośrednie zasilanie w takim przypadku jest złożona, ponieważ średni czas przepływu od obszarów zasilania do strefy drenażu składowej płytkiego krążenia, określony np. na podstawie badań izotopowych, może wynosić od kilkudziesię-

ciu do kilku tysięcy lat. W takiej sytuacji obserwowana jest reakcja ujęcia na zmianę ciśnienia złożowego, a nie na wielkość bezpośredniego zasilania.

W Kudowie-Zdroju badaniami objęto wody z ujęć K-200, Marchlewski i Moniuszko. W studni K-200 (o głębokości 192 m), udostępniającej wody z samowypływu (Ciężkowski i in., 1996), nie zaobserwowano szczególnego wpływu opadów z lipca 1997 r. na wielkość wydajności. Od 1995 r. wyraźnie następował spadek ilości wydobywanej wody. Do końca 2007 r. wydajność spadła z 37 l/min (w 1995 r.) do około 4 l/min. Najprawdopodobniej było to spowodowane awarią w obudowie ujęcia (obecnie przebudowanej – inf. uzdrowskowie służby geologiczne). W znacznie płytszych ujęciach Moniuszko (20,5 m) i Marchlewski (6,2 m) w drugim/trzecim miesiącu po powodzi wydajność spadła od

powiednio o 6 i 6–7 l/min. Przed powodzią wydajność ujęcia Moniuszko wynosiła 30 l/min, a ujęcia Marchlewski – 20 l/min. Podobnie jak w studni K-200, ilość wody wydobywanej się z tych ujęć malała w całym badanym okresie.

W Polanicy-Zdroju wszystkie eksploatowane ujęcia, bez względu na ich głębokość (dwuotworowe ujęcie Józef I – 88,8 m i Józef II – 43 m, Wielka Pieniawa – 34,6 m oraz P-300 – 265 m; Ciężkowski i in., 2003), zareagowały wzrostem wydajności 1–2 miesiące po opadach. Wydajność studni Józef I powiększyła się prawie o 80% (ze 110 do 190–200 l/min), a Józef II – o około 45% (ze 140 do 190–200 l/min). Po 7–8 miesiącach wielkość samowypływu powróciła do stanu sprzed powodzi. W kwietniu 1998 przebudowano studzienkę pomiarową tego ujęcia, po czym wydajność w obydwu studniach gwałtownie wzrosła do około 160 l/min. Miesiąc później warunki ustabilizowały się na poziomie wartości średnich (110–140 l/min).

W najpłytszym z eksploatowanych ujęć w Polanicy-Zdroju – Wielkiej Pieniawie (34,5 m) w sierpniu 1997 r. nastąpił wzrost wydajności o około 13%. Miesiąc po wzmożonych opadach 1998 r. wydajność wzrosła skokowo o około 26% (z 300 do około 380 l/min). Wspomnieć należy, że wcześniej, w kwietniu w okolicy uzdrowiska były prowadzone prace strzałowe. Wówczas wydajność tej studni zmalała o około 10–15 l/min, a przez to wzrost wydajności w sierpniu tym bardziej się uwidocznił.

Także w odwiercie P-300 bezpośrednio po opadach 1997 r. nastąpiło nagłe podwyższenie wydajności z 200–210

do 240 l/min. Równie szybko, bo po 2–3 miesiącach, warunki powróciły do stanu poprzedzającego powódź. W 1998 r., w wydajności ujęcia nie zaszły znaczące zmiany. Generalnie, po opadach 1997 r. wielkość omawianego parametru obniżała się. Wyjaśnienie tych zmian wymaga dalszych, szczegółowych badań.

W Dusznikach-Zdroju analizowano wody z ujęć Pieniawa Chopina (78 m), Jan Kazimierz (162 m), B-4 (56 m) oraz nr 39 (180 m). Wszystkie te studnie cechują się samoczynnym wypływem wód (Ciężkowski i in., 2002).

W okresie wiosennym 1997 r. w ujęciu Pieniawa Chopina obserwowano nieznacznie wyższe wydajności (ok. 333 l/min) w porównaniu do wielkości po powodzi (ok. 317 l/min). W lipcu i sierpniu 1998 r. wydajność skokowo wzrosła o 33 l/min, na co najprawdopodobniej nałożyła się opóźniona reakcja (11–12-miesięczne opóźnienie) na opady 1997 r. Obserwacje z 1999 r. zdają się potwierdzać tę hipotezę. Także spadkiem wydajności (o ok. 10%), zareagowało ujęcie Jan Kazimierz. Następowo to 3 miesiące po opadach zarówno 1997, jak i 1998 r. W 1999 r. ogólna ilość wody obniżyła się z 80 do ok. 70 l/min i na takim poziomie utrzymywała się do końca 2005 r.

Do wzrostu wydajności zarówno w 1997, jak i 1998 r. doszło w ujęciach B-4 oraz nr 39. W pierwszym z nich nastąpiło to po 3 miesiącach, w drugim po 5–6. Obniżenie wielkości samowypływu zachodziło, odpowiednio, po 10 i 11 miesiącach.

WPLYW OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH NA ZAWARTOŚĆ JONÓW WODOROWĘGLANOWYCH

Omawiane wody lecznicze są szczawami, w których głównym jonem kształtującym typ chemiczny jest jon wodorowęglanowy (HCO_3^-). Badaniami objęto ten właśnie składnik wód, ponieważ, jako jon wskaźnikowy, podlega regularnym oznaczeniom stacjonarnym (jeden raz w tygodniu).

W Kudowie-Zdroju w ujęciach Moniuszko i K-200 wpływ wysokich opadów w 1997 i 1998 r. uwidocznił się dopiero w tym drugim roku. Od początku 1998 r. stężenie jonów HCO_3^- obniżało się (w studni Moniuszko do 2115 mg/dm^3 , przy średniej z wielolecia 2190 mg/dm^3). Wcześniej ujęcia cechowały się sezonowym rytmem zmian ilości tych jonów, tj. spadkiem w okresach wiosennych i jesiennych z niewielkim wzrostem latem (czerwiec–lipiec).

Inne zmiany następowały w ujęciu Marchlewski. Analiza z wielolecia wykazała, że istotny wzrost zawartości wodorowęglanów zachodził 1 lub 12 miesięcy po opadach (fig. 2). Po opadach w latach 1997–1998 znaczące zmiany nastąpiły dopiero w czerwcu 1999 r. Zawartość jonów HCO_3^- wzrosła wówczas o ok. 150 mg/dm^3 i na takim poziomie utrzymywała się przez następne dwa lata.

Zmiany zawartości jonów HCO_3^- w wodach z poszczególnych ujęć udostępniających złożę wód leczniczych w Polanicy-Zdroju były wyraźnie widoczne już w pierwszym

miesiącu po opadach w 1997 r. Wzrost stężeń wodorowęglanów nastąpił w odwiertach P-300 i Wielka Pieniawa, natomiast obniżenie w studni Józef I. W ujęciu Józef II doszło do obniżenia ilości jonów wskaźnikowych po 3 miesiącach od

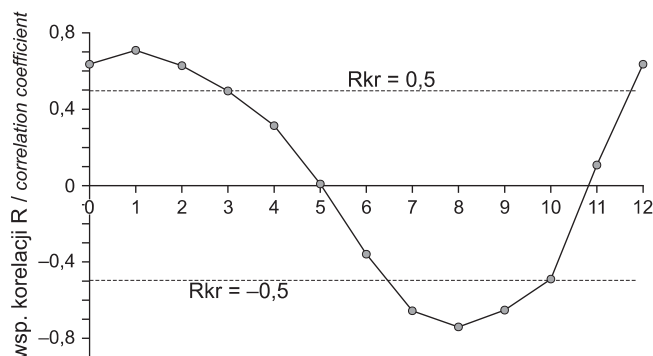


Fig. 2. Wartości współczynników korelacji pomiędzy opadami i stężeniami jonów HCO_3^- (w latach 1995–1999) w wodach z ujęcia Marchlewski

Values of correlation coefficients between precipitation and HCO_3^- ion concentrations (from the period 1995–1999) in the water of the Marchlewski intake

zaistnienia opadów. Wspomniany remont w kwietniu 1998 r. utrudnia interpretację danych po opadach 1998 r.

W Dusznikach-Zdroju, w rozpatrywanym wieloleciu 1995–1999, najbardziej stabilnymi pod względem zawartości jonów HCO_3^- były ujęcia nr 39 oraz B-4. Analizując wyniki rocznych obserwacji wyraźna jest zmienność sezonowa, tj. obniżenie się ilości wodorowęglanów w okresie wiosennym (marzec–maj) i jesiennym (listopad) oraz nieznaczny wzrost w lecie (lipiec–sierpień). Rok 1997 odbiegał nieco od tego schematu. W ujęciu nr 39 stężenia wodorowęglanów wzrastały nieprzerwanie przez cały rok, bez widocznych zmian po opadach z lipca. W odwiercie B-4 bezpośrednio po stanie powodziowym nastąpiło krótkie, nieznaczne (ok. 50 mg/dm^3) obniżenie wartości tego parametru. Prawdopodobnie na sezonowy spadek ilości jonów HCO_3^- wiosną 1998 r. nałożył się ujemny wpływ opadów z lata 1997 r. Negatywna

reakcja z 7–8-miesięcznym opóźnieniem jest zgodna z analizą wieloletnią, podobnie jak wzrost zawartości jonów HCO_3^- po 15 miesiącach. Podobną zależność zauważono wiosną 1999 r. Mimo dość zróżnicowanej głębokości (B-4 – 56 m, nr 39 – 180 m) omawiane ujęcia reagują bardzo podobnie. Najprawdopodobniej jest to związane z obecnymi w ich sąsiedztwie strefami uskokowymi.

Opisaną zmienność sezonową można także zauważyć w przypadku najpłytszego z ujęć dusznickich (Pieniawy Chopina), przy czym natychmiast po opadach, zarówno w 1997, jak i 1998 r., następowało obniżenie zawartości wodorowęglanów i stabilizacja warunków po 5–6 miesiącach.

W odwiercie Jan Kazimierz w analizowanym okresie nie zaobserwowano zmian w stężeniach jonów wodorowęglanowych.

WPLYW OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH NA ILOŚĆ ROZPUSZCZONEGO W WODACH DWUTLENKU WĘGLA

W ujęciach w Kudowie-Zdroju trudno jest określić bezpośredni wpływ wysokich opadów z lat 1997 i 1998 na zmiany stężeń dwutlenku węgla. W ujęciach Moniuszko i Marchlewski w całym analizowanym okresie ilość gazu w wodach malała stopniowo (odpowiednio): od 2620 mg/dm^3 (w 1995 r.) do 2200 mg/dm^3 oraz od około 2400 do 2210 mg/dm^3 . Nieco inną sytuację zaobserwowano w ujęciu K-200. W tym odwiercie także dochodziło do powolnego obniżania się ilości gazu, przy czym w trzecim miesiącu po opadach 1997 r. stężenie CO_2 spadło o około 8%, po czym gwałtownie powróciło do wartości średnich (ok. 2230 mg/dm^3).

W Polanicy-Zdroju we wszystkich badanych ujęciach ilość CO_2 gwałtownie obniżyła się zaraz po opadach latem 1997 r. Zmiany w poszczególnych studniach były zróżnicowane, rzędu $50\text{--}100 \text{ mg/dm}^3$, a największe w ujęciu Wielka Pieniawa (170 mg/dm^3). Równie szybko, bo w ciągu kolejnego miesiąca, warunki stabilizowały się. Podobne reakcje miały miejsce w 1998 r.

W Dusznikach-Zdroju odwierty nr 39 i B-4 eksploatowane są głównie w celu pozyskania wolnego CO_2 do produkcji przemysłowej. Z powodu niekompletności danych z ujęcia nr 39 analiza wpływu opadów 1997 r. na ilość rozpuszczonego w wodzie CO_2 jest niepełna. Generalnie jednak zauważyć można stopniowy spadek ilości gazu. Analogiczne zjawisko zaobserwowano w ujęciu B-4. Intensywne opady w latach 1997 i 1998 powodowały gwałtowniejsze obniżenie ilości dwutlenku węgla.

Czy ówczesne zjawiska pogodowe miały bezpośredni wpływ na ilość rozpuszczonego CO_2 w wodach z dwu pozostałych ujęć dusznickich – Pieniawy Chopina i Jana Kazimierza – trudno jest jednoznacznie stwierdzić. Stężenia omawianego gazu były bardzo zmienne i jeżeli zjawiska atmosferyczne nałożyły się na wahania naturalne (a wykluczyć tego nie można), określenie wielkości danego typu zmian, na tym etapie rozpoznania, jest niemożliwe.

WPLYW OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH NA TEMPERATURĘ WÓD NA WYPŁYWIE

W Kudowie-Zdroju we wszystkich ujęciach temperatura wód na wypływie wzrosła 2–3 miesiące po opadach, zarówno w 1997 r., jak i w 1998 r. Ponadto w 1999 r. zaobserwowano wzrost temperatury wody w studniach Moniuszko i K-200. Natomiast analiza korelacyjna z wielolecia wskazuje na 11–12-miesięczny okres opóźnienia reakcji wspomnianych ujęć na opady.

Temperatury wód leczniczych Polanicy-Zdroju wykazują zmienność sezonową, tj. obniżają się w sezonach zimowych i podwyższają w letnich (od $0,4$ do $0,8^\circ\text{C}$). Dodatkowo zauważyć można, że w analizowanych latach temperatura

wody z odwiertu P-300 sukcesywnie obniżała się bez wyraźnego wpływu anomalnych opadów 1997 i 1998 r. Wzrost temperatury wody na wypływie (o $0,2^\circ\text{C}$ w 1997 i $0,3^\circ\text{C}$ w 1998 r.) zaobserwowano w ujęciach Wielka Pieniawa i Józef II.

W Dusznikach-Zdroju w całym rozpatrywanym okresie w sezonie jesiennym temperatury wód na wypływach wzrastały. Trudno zatem jest jednoznacznie określić, jak duży był wpływ opadów jesienią 1997 i 1998 r. na obniżenie temperatury wiosną w latach następnych.

PODSUMOWANIE

Powszechnie wiadomo, że każde z ujęć, nawet w obrębie jednego złoża wód podziemnych, reaguje indywidualnie na czynniki atmosferyczne. Intensywne opady z lat 1997 i 1998 mimo szkód, jakie wyrządziły w zagospodarowaniu obszarów uzdrowiskowych, w parametrach wód leczniczych nie powodowały istotnych (nieodwracalnych) zmian.

Sukcesywne obniżanie się wydajności ujęć, nie tylko Kudowy-Zdroju, należałoby raczej wiązać z rozwojem zabudowy obszarów uzdrowiskowych, terenów bezpośrednio sąsiadujących ze strefami uzdrowiskowymi oraz obszarów zasilania danego złoża. Ponieważ wody lecznicze są kopaliną podstawową, ich eksploatacja podlega ściśle przepisom prawa geologicznego i górnictwa, a zatem i wymogom koncesji wydawanej przez ministra środowiska. Stąd zmiany warunków eksploatacji poszczególnych ujęć, jako niedopuszczalne, nie były uwzględniane.

Krótkotrwałe obniżenie ilości gazu w wodach po opadach oraz wzrost stężeń jonów wodorowęglanowych i temperatury wód na wypływach może potwierdzać hipotezę o mieszanii się w strefach drenażu wód systemu głębokiego krążenia z wodami współczesnej infiltracji. Z drugiej strony, szybka reakcja ujęć może wskazywać na kontakt hydrauliczny ze strefami drożnymi lub też może być wynikiem stanu technicznego ujęć.

Sudeckie wody lecznicze stanowią złoża wód mieszaných, zatem jeżeli zachowane są warunki ochrony złoża, ich reżim odbudowuje się z mniejszym lub większym opóźnieniem. Wiadomo także, że głębokość ujęcia wpływa na szybkość (najczęściej opóźnia) reakcji na czynniki zewnętrzne. Specyficzna, uskokowa tektonika omawianego obszaru niejednokrotnie sprzyja uaktywnieniu krążenia wód i gazów.

LITERATURA

- CIEŻKOWSKI W., DOKTÓR S., GRANICZNY M. i in., 1996 – Określenie obszarów zasilania wód leczniczych pochodzenia infiltracyjnego w Polsce na podstawie badań izotopowych. Zał. 18 – Złoże wód leczniczych Kudowy Zdroju. Arch. ZBU Zdroje, Wrocław.
- CIEŻKOWSKI W., KIEŁCZAWA B., MAZUREK P., TEISSEYRE B., 2003 – Endogeniczny dwutlenek węgla szczaw Polanicy Zdroju jako potencjalne zagrożenie dla środowiska. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*, t. 11, cz. 1: 87–94. Gdańsk.
- CIEŻKOWSKI W., KIEŁCZAWA B., MAZUREK P., TEISSEYRE B., RODZIEWICZ B., 2002 – O niekorzystnym wpływie ograniczenia eksploatacji wód podziemnych na środowisko gruntowo-wodne na przykładzie wód leczniczych Dusznik Zdroju. *Pr. Nauk. Inst. Gór. PWrocł.*, 102: 3–14.
- CIEŻKOWSKI W., ROSIŃSKA-WILCZEK G., 1997 – Powódź z lipca 1997 a złoża wód leczniczych Polski południowej. *W: Szkolenie służby geologicznej Resortu Zdrowia i Opieki Społecznej w Krynicy: 40–42.* Warszawa–Krynica.
- DUBICKI A., SÓTA KRAWCZYŃ., ZIELIŃSKI KRAWCZYŃ., 1999 – Dorzecze Odry, monografia powodzi lipiec 1997. Wyd. IMGW, Warszawa.
- KRAWCZYK M., 2008 – Wpływ powodzi na wody lecznicze Ziemi Kłodzkiej. Praca magisterska. Arch. PWrocł., Wrocław.
- SZYMANEK A., SKÓRKOWSKA-SZOPA A., 1995 – Ziemia Kłodzka: mapa turystyczna. Pol. Przeds. Wyd. Kartogr., Wrocław.

SUMMARY

The immediate cause of the flood in 1997 was rainfall, which began on 5 July and lasted 60–70 hours. Next summer in the Kłodzko area, especially in its western part, the flood occurred again and resulted in damage comparable to that of the previous year (in Polanica even larger).

The article presents the results of variability analysis of exploitation parameters of medicinal water from Kudowa Spa, Duszniki Spa and Polanica Spa. The results of observation of exploitation parameters (mainly from the period 1995–1999) made by the Geological Survey were used to study correlations.

Generally, the temperature of water, discharge of wells and concentration of HCO_3^- ions increased in most intakes after precipitation in 1997 and 1998. A decrease in CO_2 concentration was also observed.

Some of intakes (e.g. P-300 and Józef in Polanica Spa) were characterised by a seasonal variability of water temperature, which was independent of precipitation.

Moreover, a decrease in discharge and CO_2 content occurred in the well K-200 in Kudowa Spa, regardless of the amount of precipitation.

Short-term changes can confirm the hypothesis of water mixing (deep and shallow circulation systems) within the discharge area. On the other hand, a quick reaction of wells could sometimes indicate hydraulic connection zones, or it might be the result of technical condition of intakes.

The damages in Spa areas caused by the 1997–1998 rainfall did not result in significant (irreversible) changes in the water parameters.

