

Wojciech CIĘŻKOWSKI & Barbara MROCZKOWSKA

## ANOMALIA HYDROGEOCHEMICZNA CIEPLIC ŚLĄSKICH-ZDROJU

### *Hydrogeochemical anomaly of Cieplice Śląskie-Zdrój*

Wojciech Ciężkowski & Barbara Mroczkowska: Hydrogeochemical anomaly of Cieplice Śląskie-Zdrój. [In Polish, English summary]. Ann. Soc. Geol. Poloniae 55/3-4: 473-484, 1985 Kraków.

**A b s t r a c t:** The spa of Cieplice Śląskie Zdrój is the only locality with thermal waters in the Polish part of the Karkonosze Mts. Here also occurs the only hydrogeochemical anomaly in this area. The anomaly is due to the waters of deep, long-distance circulation, which rise to the surface through a faulted zone, oriented NW-SE, within the granite massif. The chemical composition of the waters in the anomalous zone forms in a complex process of flow and mixing of different types of waters (including thermal and normal waters).

**Key words:** thermal waters, water chemistry, ground-water circulation, Sudetes, Poland.

Wojciech Ciężkowski: Instytut Geotechniki Politechniki Wrocławskiej, pl. Grunwaldzki 9, 50-377 Wrocław, Poland.

Barbara Mroczkowska: Oddział Dolnośląski Instytutu Geologicznego, al. Jaworowa 19, 53-122 Wrocław, Poland.

manuscript received: May, 1982

accepted: June, 1984

**T r e ś ć:** Uzdrowisko Cieplice Śląskie-Zdrój jest jedynym w polskiej części Karkonoszy miejscem występowania wód termalnych. Występuje tu również jedyna na tym obszarze anomalia hydrochemiczna utworzona przez wody dalekiego i głębokiego krążenia, wypływające ku powierzchni strefą uskoku o kierunku NW-SE w obrębie grzbietu granitowego. Skład chemiczny wód strefy anomalnej formuje się w wyniku skomplikowanego procesu przepływu i mieszania się wód różnych typów (w tym wód termalnych i zwykłych).

### WPROWADZENIE

Wody termalne Cieplic Śl.-Zdroju już od XIII wieku były wykorzystywane w celach leczniczych. Wody te wypływają ze skał granitowych pokrytych warstwą zwietrzliny oraz ze szczelnych na ogół osadów czwartorzędowych o miąższości od kilku do kilkudziesięciu metrów. Przez teren uzdrowiska przepływają rzeki Kamienna i Wrzosówka (fig. 1).

Sześć źródeł wód termalnych (indywidualnych i zespołowych) wypływa ze szczelin w granicie na przestrzeni zaledwie kilkudziesięciu metrów: od rozlewni wody mineralnej poprzez zakład borowinowy do Sanatorium I. Wody te tworzą

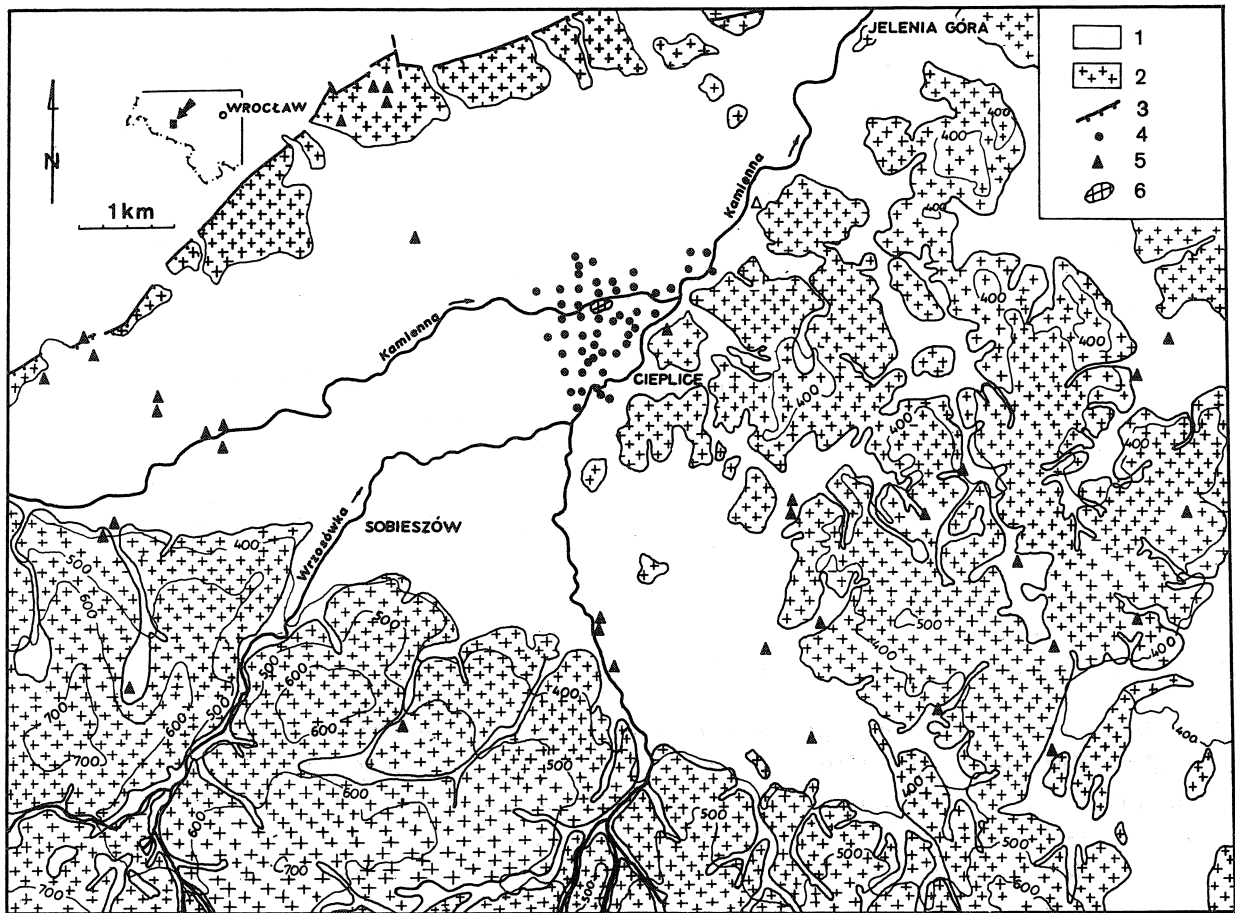


Fig. 1. Mapa rozmieszczenia punktów badawczych. 1 – utwory czwartorzędowe, 2 – granit karkonoski, 3 – granica granitu karkonoskiego i bloku izerskiego, 4 – płytkie otwory wiertnicze, 5 – studnie i źródła wód zwykłych, 6 – obszar wypływu wód termalnych

Fig. 1. Location map showing distribution of investigated points. 1 – Quaternary sediments, 2 – Karkonosze granite, 3 – boundary between Karkonosze granite and Izera block, 4 – shallow boreholes, 5 – wells and springs with normal waters, 6 – area of thermal springs

jedyną anomalię hydrogeochemiczną na obszarze polskiej części granitu karkonoskiego.

Pod koniec lat sześćdziesiątych i na początku lat siedemdziesiątych przeprowadzono na terenie uzdrowiska prace geologiczno-poszukiwawcze, których celem było zwiększenie zasobów eksploatacyjnych wód termalnych. Wykonano wówczas kilkadziesiąt płytkich otworów wiertniczych o głębokości od kilku do ponad 20 m, których zadaniem było osiągnięcie litej skały oraz dwa głębokie wiercenia hydrogeologiczne: C-1 (661 m) i C-2 (750 m). Wyniki tych badań zostały zamieszczone w niepublikowanym opracowaniu Iwanowskiego (1973). Dane dotyczące składu chemicznego wód występujących w obrębie granitu karkonoskiego są zebrane w innych niepublikowanych pracach Michniewicza i Mroczkowskiej (1976).

Analizy chemiczne wód, pochodzące z tych opracowań i uzupełnione dodatkowymi badaniami autorów, stanowiły podstawowy materiał do rozważań zawartych w niniejszym artykule. Poza licznymi wynikami analiz wód termalnych (Analizy ..., 1976) autorzy dysponowali 52 analizami wód z roku 1970 z płytkich wierceń zlokalizowanych w sąsiedztwie źródeł cieplickich oraz 40 analizami z lat 1975 –

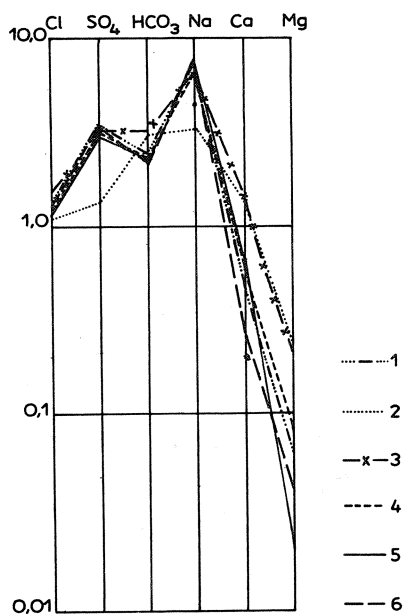


Fig. 2. Analizy chemiczne wód termalnych (z r. 1970) przedstawione na wykresie Schoellera. Zawartość jonów wyrażona w miliwalach. Ujęcia: 1 - Marysieńka, 2 - Sobieski, 3 - Wacław-Antoni, 4 - Nowe, 5 - basenowe (damskie), 6 - basenowe (męskie)

Fig. 2. Chemical analyses of thermal waters (from 1970) shown on Schoeller diagram. Ion content in milivalents. Intake points: 1 - Marysieńka, 2 - Sobieski, 3 - Wacław-Antoni, 4 - Nowe, 5 - women bath, 6 - men bath

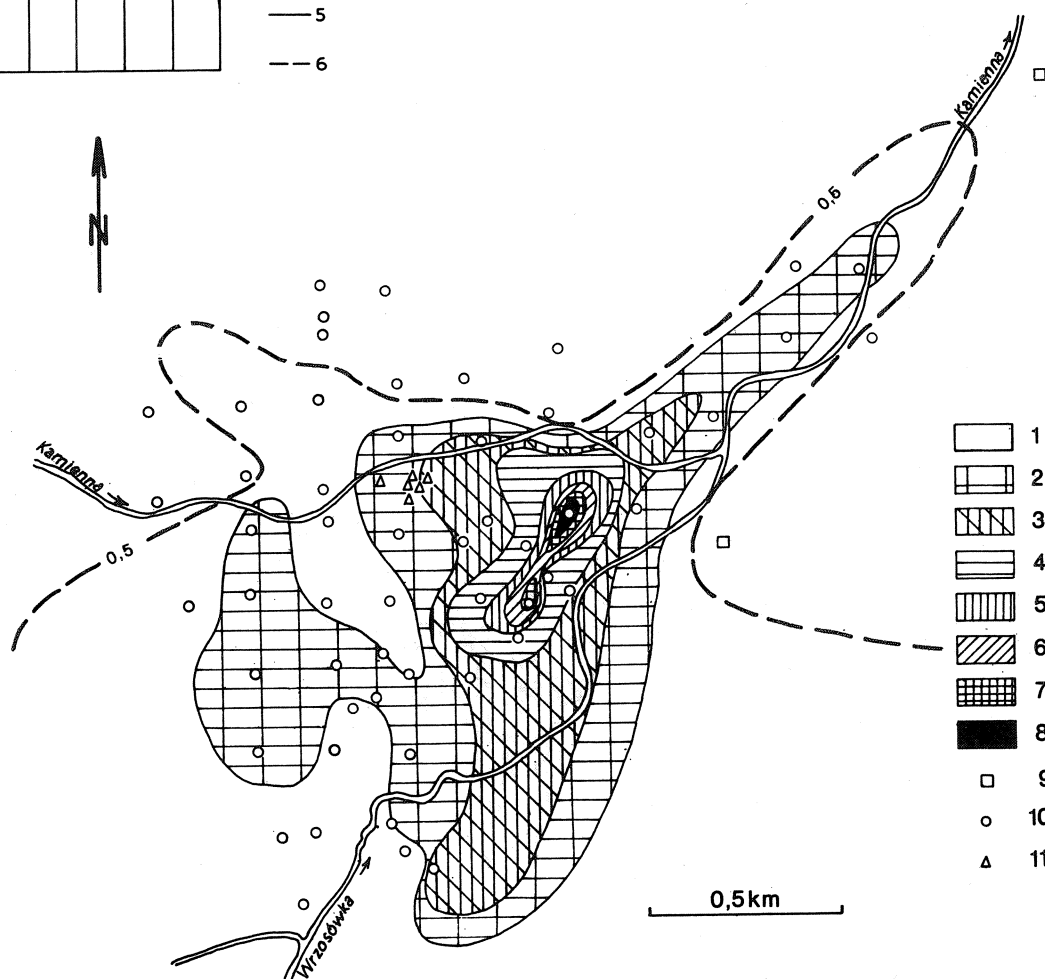


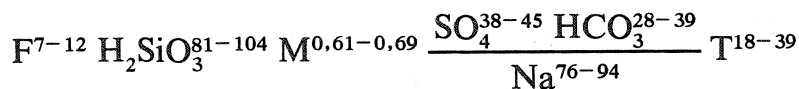
Fig. 3. Mapka koncentracji fluoru w wodach zwykłych Cieplic Śl. Zdroju. 1-8 - obszary występowania wód zawierających jon fluorowy w ilości (w mg/l): 1 - 0-1, 2 - 1-2, 3 - 2-3, 4 - 3-4, 5 - 4-5, 6 - 5-6, 7 - 6-7, 8 - >7; 9 - studnie; 10 - płytkie otwory wiertnicze; 11 - źródła termalne

Fig. 3. Map showing concentration of fluorine in normal waters of Cieplice Śląskie Zdrój. 1-8 - concentrations in mg/l: 1 - 0-1, 2 - 1-2, 3 - 2-3, 4 - 3-4, 5 - 4-5, 6 - 5-6, 7 - 6-7, 8 - >7; 9 - wells, 10 - shallow boreholes, 11 - thermal springs

1978 wód pobranych w studniach i źródłach znajdujących się w promieniu 5 km od centrum Cieplic (fig. 1).

WODY TERMALNE CIEPLIC

Skład chemiczny wód termalnych Cieplíc (oprócz źródła „Sobieski”) przedstawiony formułą Kurlowa (dane z roku 1970) jest następujący:



We wzorze podano zawartości minimalne i maksymalne danego składnika. Ilości F i  $H_2SiO_3$  podane są w  $mg/dm^3$ , ogólna mineralizacja M w  $g/dm^3$ , zaś zawartości poszczególnych jonów w % mval; temperatura wody T w  $^{\circ}C$ .

Są to więc wody typu  $SO_4-HCO_3-Na$ . Wody z otworów wiertniczych C-1 i C-2 mają skład chemiczny analogiczny jak wody w źródłach (fig. 2, 6). Źródło „Sobieski” różni się zdecydowanie od pozostałych ujęć, reprezentując typ  $HCO_3-SO_4-Cl-Na-Ca$ , a skład chemiczny jego wód jest następujący:

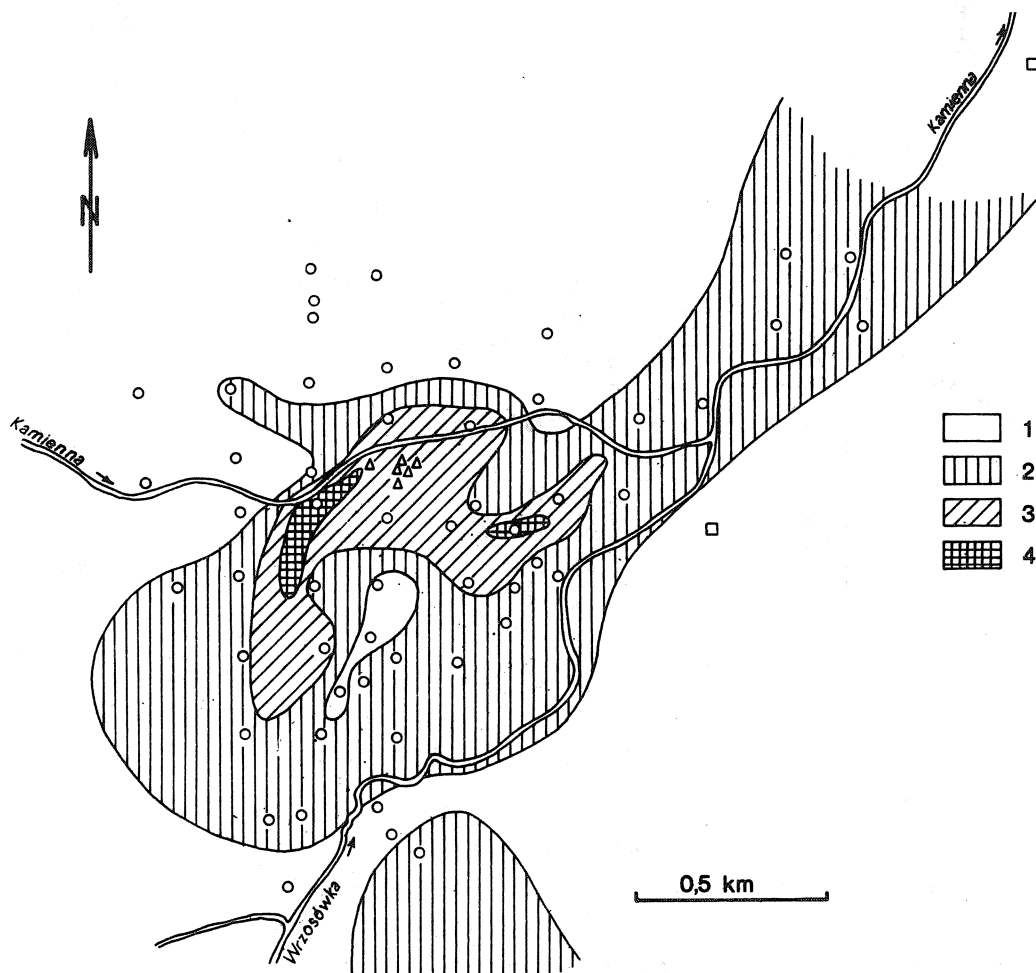
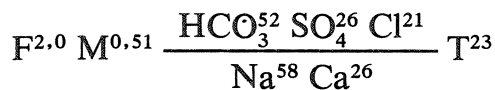


Fig. 4. Mapka koncentracji wodorowęglanów w wodach zwykłych Cieplíc Śl. Zdroju. 1-4 - obszary występowania wód zawierających jon  $HCO_3$  w ilości (w  $mg/l$ ): 1 - 0-100; 2 - 100-200; 3 - 200-300; 4 - > 300. Pozostałe objaśnienia jak na figurze 3

Fig. 4. Map showing concentration of hydrocarbonates in normal waters of Cieplice Śląskie Zdrój. 1-4 - concentration in  $mg/l$ : 1 - 0-100; 2 - 100-200; 3 - 200-300; 4 - >300. Other explanations as in Fig. 3

Pochodzenie wód termalnych Cieplic uznano zgodnie za infiltracyjne, natomiast co do wieku tych wód i ich obszaru alimentacji zdania są podzielone. Zagadnienia te szczegółowo są przedstawione w pracach Frecha (1911), Dowgiałły (1976), Fistka i Tęšiorowskiej (1973) oraz Mroczkowskiej, Mroczkowskiego i Ostaficzuka (1983).

Badania geofizyczne (Fistek *et al.*, 1975) oraz prace wiertnicze wykazały, że naturalne wypływy wód termalnych na powierzchnię znajdują się w najwyższym położonym fragmencie granitowego grzbietu, obciętego z obu stron uskokami, o względnej wysokości około 10 m i przebiegu SW – NE, formą przypominającego zrab. Miąższość nadległych osadów wynosi w tym miejscu około 4 m. Źródła wypływają w strefie uskokowej o kierunku NW – SE, przecinającej ten grzbiet prostopadle i tworzącej w nim wyraźne wcięcie po stronie południowej. Również badaniami geofizycznymi określono kierunki przepływu zwykłych wód podziemnych. Po północnej stronie granitowego grzbietu wody przepływają w kierunku wschodnim, zaś po stronie południowej w kierunku północno-wschodnim.

Przy zestawianiu charakterystyk chemicznych wód podziemnych na obszarze granitu karkonoskiego autorzy stwierdzili, że izolinie zawartości podstawowych

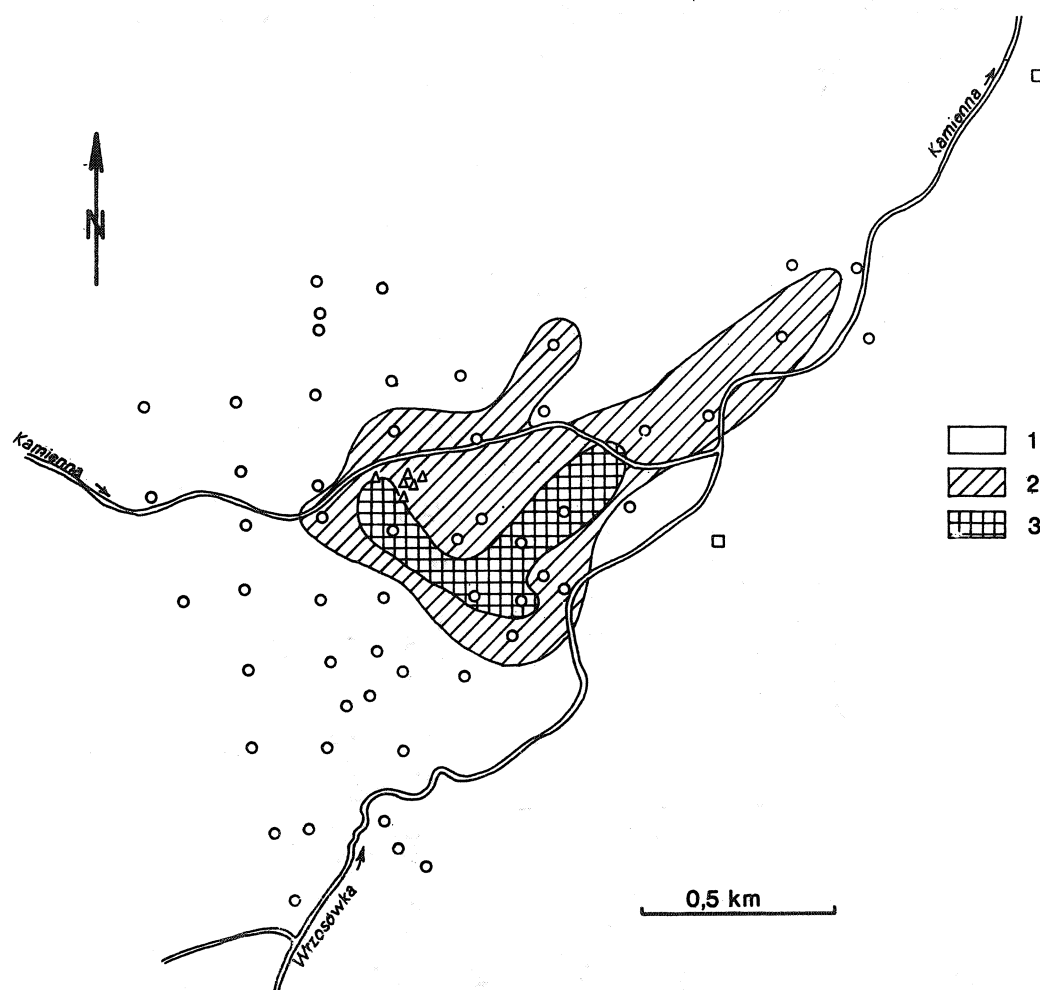


Fig. 5. Mapka koncentracji sodu w wodach zwykłych Ciepliec Śl. Zdroju. 1–3 – obszary występowania wód zawierających jon  $\text{Na}^+$  w ilości (w mg/l): 1 – 0–50; 2 – 50–100; 3 – >100. Pozostałe objaśnienia jak na fig. 3

Fig. 5. Map showing concentrations of sodium in normal waters of Cieplice Śląskie Zdrój. 1–3 – concentrations of  $\text{Na}^+$  ion in mg/l: 1 – 0–50; 2 – 50–100; 3 – >100. Other explanations as in Fig. 3

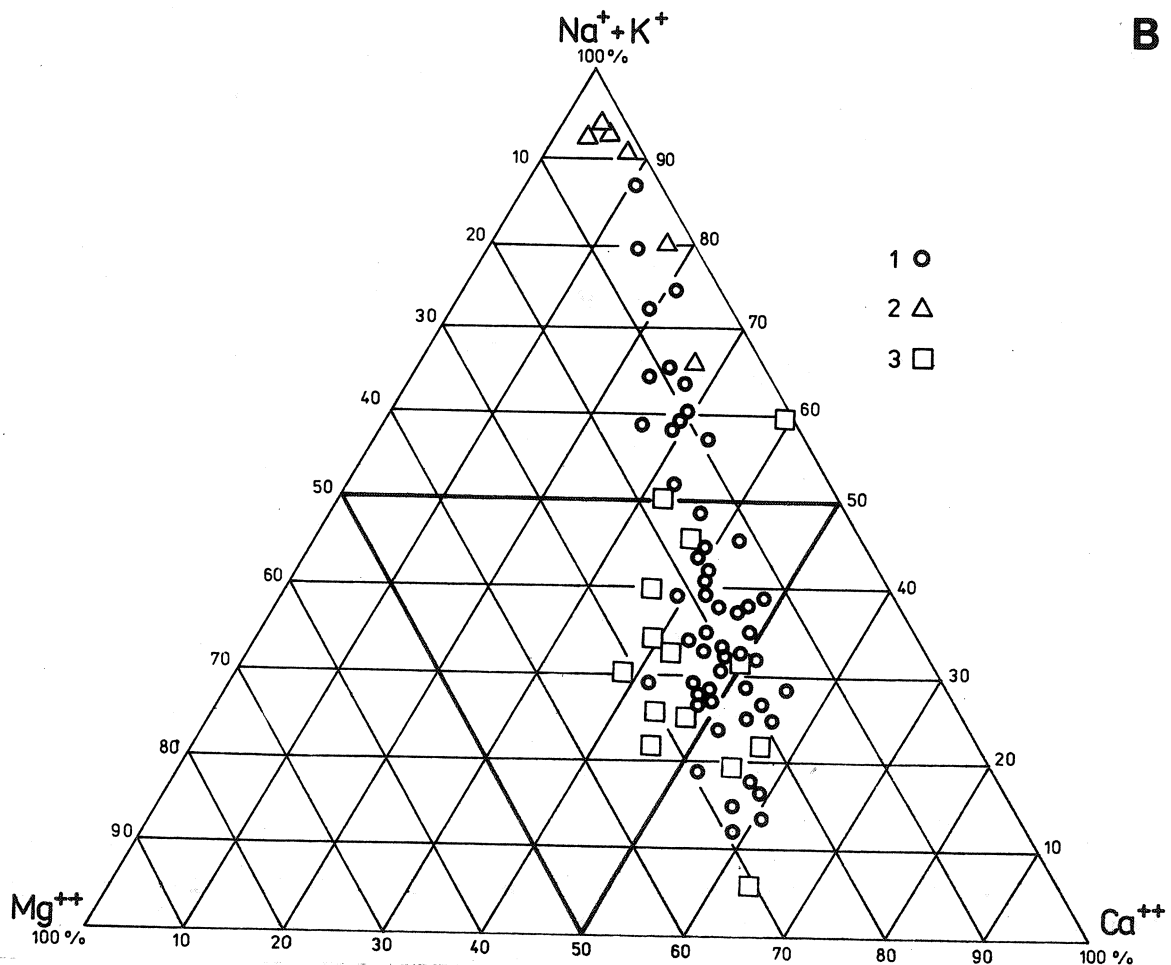
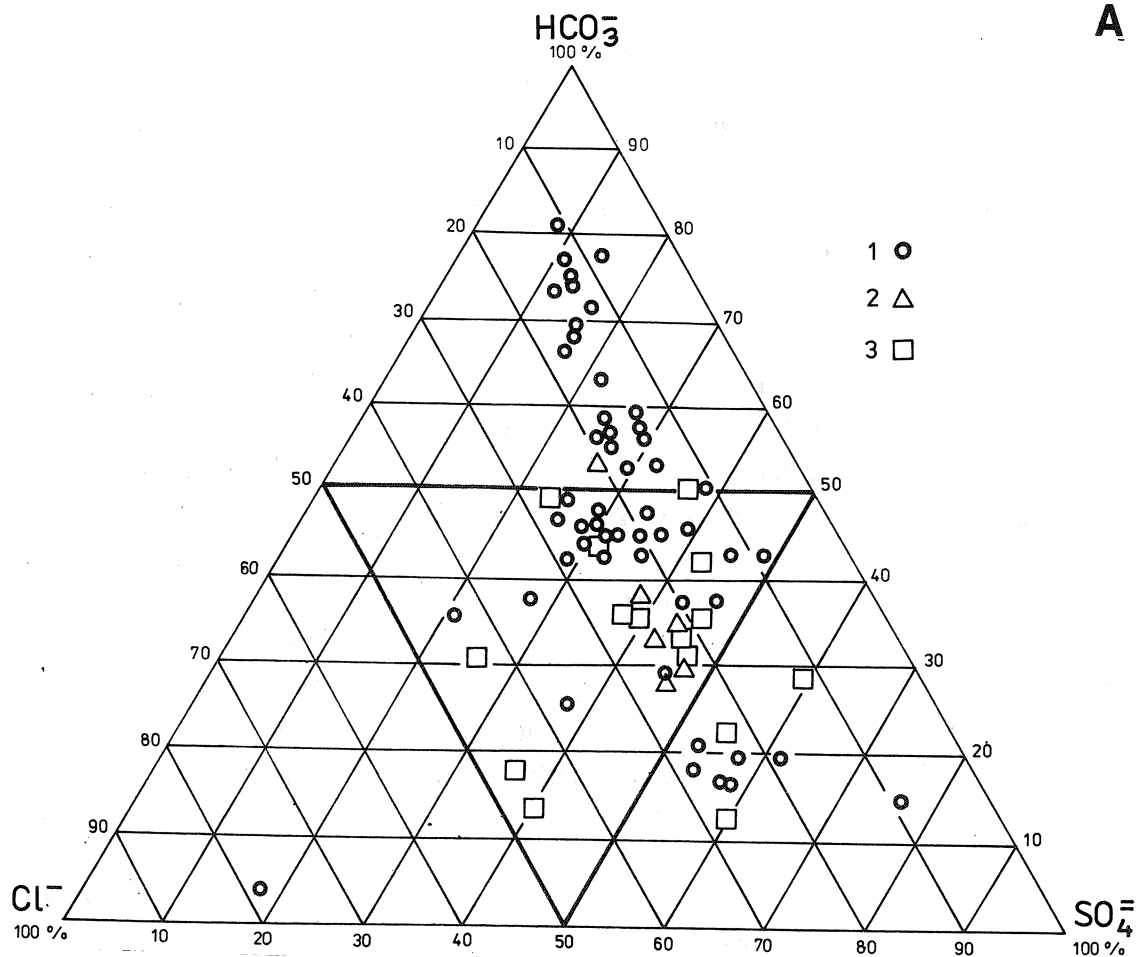


Fig. 6. Wykresy składu chemicznego wód termalnych i wód zwykłych z otworów płytkich, studni i źródeł.  
 A – aniony, B – kationy. 1 – otwory płytke, 2 – źródła termalne, 3 – studnie i źródła

Fig. 6. Diagrams of chemical composition of thermal and normal waters from shallow boreholes, wells and springs. A – anions, B – cations. 1 – shallow boreholes, 2 – thermal springs, 3 – wells and springs

jonów w wodzie tworzą strefę anomalną na terenie uzdrowiska. Ilustrują to mapy przedstawiające koncentrację wybranych jonów: fluorkowego, wodorowęglanowego i sodowego w zwykłych wodach z płytkich odwiertów, studni i źródeł (fig. 3, 4, 5).

Płytkie wody zwykłe, stanowiące tło hydrochemiczne tego obszaru, należą do typu  $\text{SO}_4-(\text{HCO}_3, \text{Cl})-\text{Ca}-(\text{Mg}, \text{Na})$  względnie  $\text{HCO}_3-(\text{SO}_4, \text{Cl})-\text{Ca}-\text{Na}-(\text{Mg})$ , przy czym wody drugiego z typów charakteryzują się zwierciadłem napiętym<sup>1</sup>. W obrębie wód tła znajdują się trzy inne typy chemiczne wód:  $\text{SO}_4-\text{HCO}_3-\text{Na}$  (wody termalne),  $\text{HCO}_3-(\text{SO}_4)-\text{Na}-\text{Ca}$  oraz  $\text{HCO}_3-\text{SO}_4-(\text{Cl})-\text{Na}-(\text{Ca})$ . Prostoliniowa granica pomiędzy dwoma ostatnimi typami, wydzielonymi między sobą wyłącznie na podstawie wykresów Schoellera (fig. 7) przechodzi od miejsca wypływu wód termalnych w kierunku SE i pokrywa się ze strefą uskokuwą.

Odwzorowanie składu jonowego wód termalnych i zwykłych poszczególnych typów przedstawiono na diagramach w trójkątnym układzie współrzędnych (fig. 6) oraz na wykresach Schoellera (fig. 7). Skład chemiczny wód zwykłych przedstawiono poniżej wzorem Kurlowa:

typ  $\text{SO}_4-(\text{HCO}_3, \text{Cl})-\text{Ca}-(\text{Mg}, \text{Na})$ :

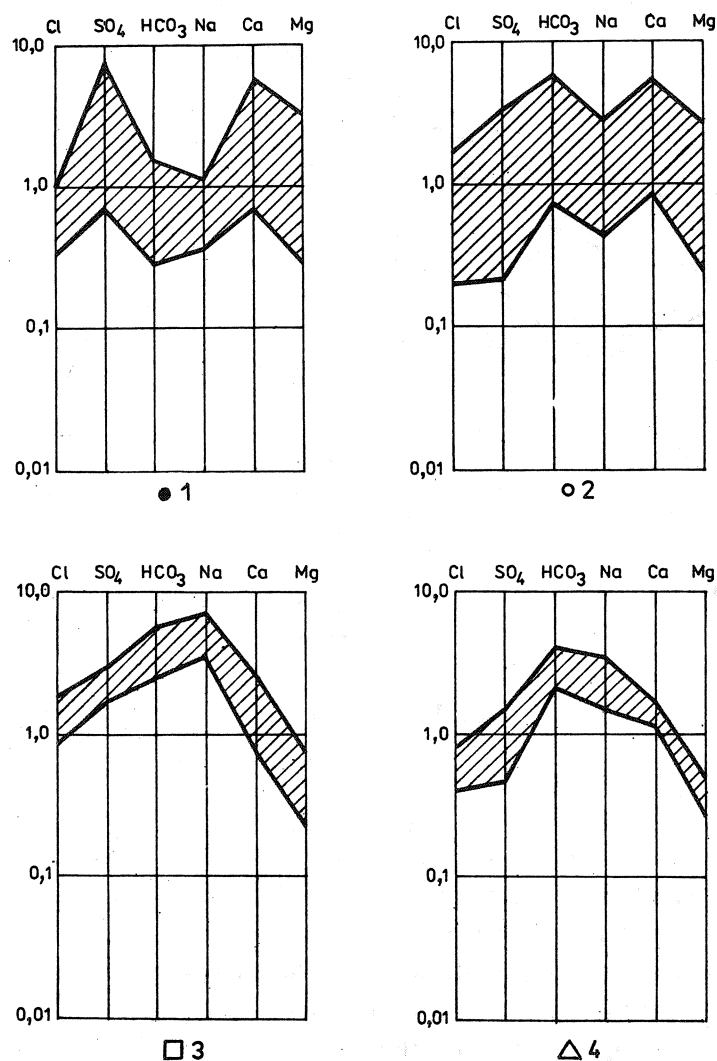


Fig. 7. Analizy chemiczne wód zwykłych na wykresach Schoellera. Typy wód: 1 -  $\text{SO}_4-(\text{HCO}_3-\text{Cl})-\text{Ca}-(\text{Mg}-\text{Na})$ , 2 -  $\text{HCO}_3-(\text{SO}_4-\text{Cl})-\text{Ca}-\text{Na}-(\text{Mg})$ , 3 -  $\text{HCO}_3-\text{SO}_4-(\text{Cl})-\text{Na}-(\text{Ca})$ , 4 -  $\text{HCO}_3-(\text{SO}_4)-\text{Na}-\text{Ca}$

Fig. 7. Chemical analyses of normal waters shown on Schoeller diagrams.

1-4 - water types (see above)

<sup>1</sup> W nawiasach podano jony występujące nie we wszystkich wodach danego typu na terenie Cieplic.

$$F^{0.05-2.0} M^{0.14-0.76} \frac{SO_4^{31-76} HCO_3^{12-44} Cl^{7-28}}{Ca^{26-69} Mg^{15-32} Na^{11-28}}$$

typ  $HCO_3-(SO_4, Cl)-Ca-Na-(Mg)$ :

$$F^{0.0-2.4} M^{0.05-0.71} \frac{HCO_3^{43-78} SO_4^{11-40} Cl^{9-36}}{Ca^{39-63} Na^{11-44} Mg^{0-31}}$$

typ  $HCO_3-(SO_4)-Na-Ca$

$$F^{1.5-3.5} M^{0.3-0.56} \frac{HCO_3^{52-76} SO_4^{12-29}}{Na^{48-63} Ca^{27-40}}$$

typ  $HCO_3-SO_4-(Cl)-Na-(Ca)$

$$F^{1.5-8.0} M^{0.36-0.76} \frac{HCO_3^{37-54} SO_4^{25-35} Cl^{13-35}}{Na^{43-48} Ca^{10-39}}$$

Poziome rozprzestrzenienie typów wód ilustruje figura 8.

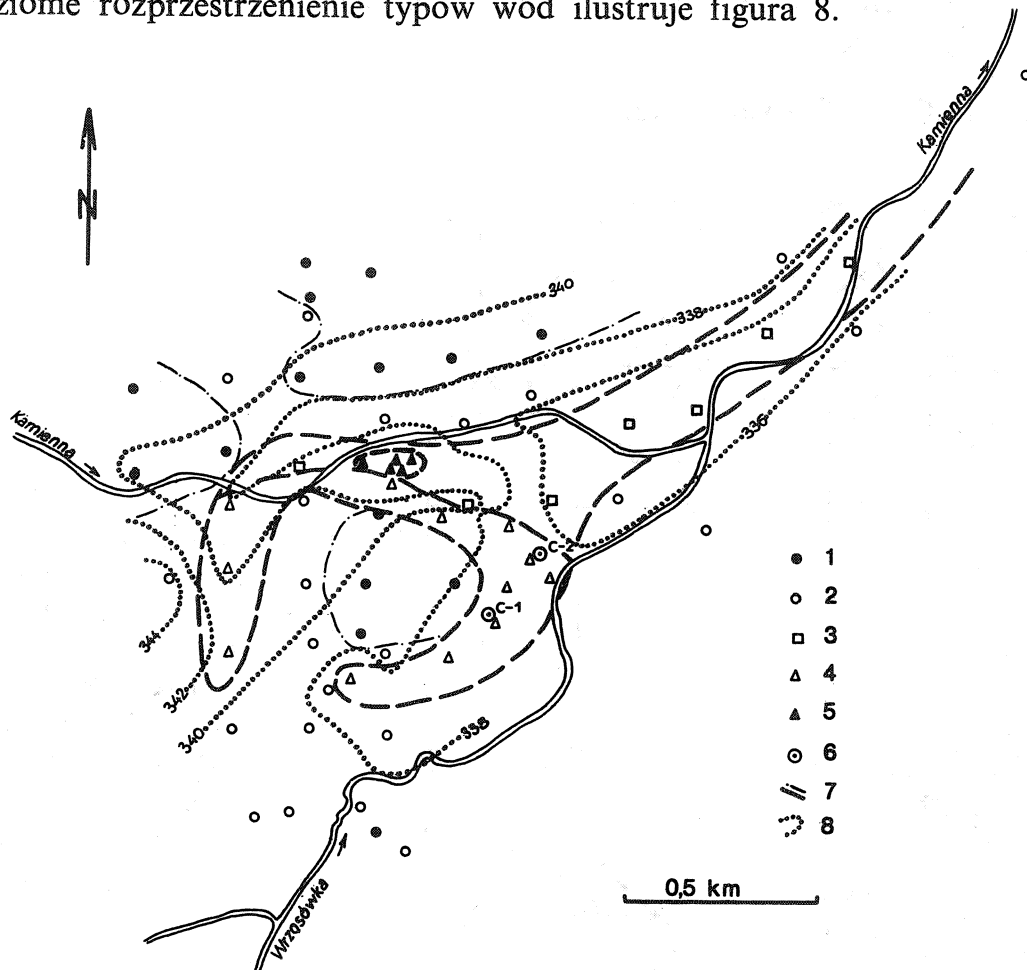


Fig. 8. Mapka hydrochemiczna obszaru Ciepliec Śl. Zdroju. 1-5 - typy wód: 1 -  $SO_4-(HCO_3-Cl)-Ca-(Mg-Na)$ , 2 -  $HCO_3-(SO_4-Cl)-Ca-Na-(Mg)$ , 3 -  $HCO_3-SO_4-(Cl)-Na-(Ca)$ , 4 -  $HCO_3-(SO_4)-Na-Ca$ , 5 -  $SO_4-HCO_3-Na$  (wody termalne oprócz źródła Sobieski), 6 - głębokie otwory wiertnicze, 7 - granice chemicznych typów wód, 8 - hydroizohipsy

Fig. 8. Hydrogeochemical map of the area of Cieplice Śląskie Zdrój. 1-5 - water types: 1 -  $SO_4-(HCO_3-Cl)-Ca-(Mg-Na)$ , 2 -  $HCO_3-(SO_4-Cl)-Ca-Na-(Mg)$ , 3 -  $HCO_3-SO_4-(Cl)-Na-(Ca)$ , 4 -  $HCO_3-(SO_4)-Na-Ca$ , 5 -  $SO_4-HCO_3-Na$  (thermal waters except the spring Sobieski); 6 - deep boreholes, 7 - boundaries of chemical types of waters; 8 - ground-water level contourlines



GENEZA ANOMALII

Szczegółowa analiza wymienionych powyżej danych pozwoliła na próbę określenia przyczyn i mechanizmu powstawania anomalii hydrochemicznej (fig. 9). W naszym ujęciu mechanizmy te przedstawiają się następująco.

Wody termalne o dalekim i głębokim krążeniu wypływają ku powierzchni strefą uskokuwą, a ściślej jej częścią w obrębie grzbietu granitowego, tworząc linię źródłową, która w większości jest jednak niewidoczna. Wypływy na powierzchnię mają miejsce tam, gdzie miąższość osadów jest najmniejsza. Wylewające się ze strefy uskokuwej wody termalne, spływając ku NE po grzbiecie granitowym, mieszają się częściowo z wodami typu  $\text{HCO}_3-(\text{SO}_4)-\text{Na}-\text{Ca}$  (fig. 9).

Wody typu  $\text{HCO}_3-(\text{SO}_4)-\text{Na}-\text{Ca}$  należące do wód głębszego krążenia, dopływają do Cieplic od strony SW i od tej też strony ograniczają wody termalne. Część tych wód wypływa ku górze już nieco wcześniej, w strefach silnie spękanych

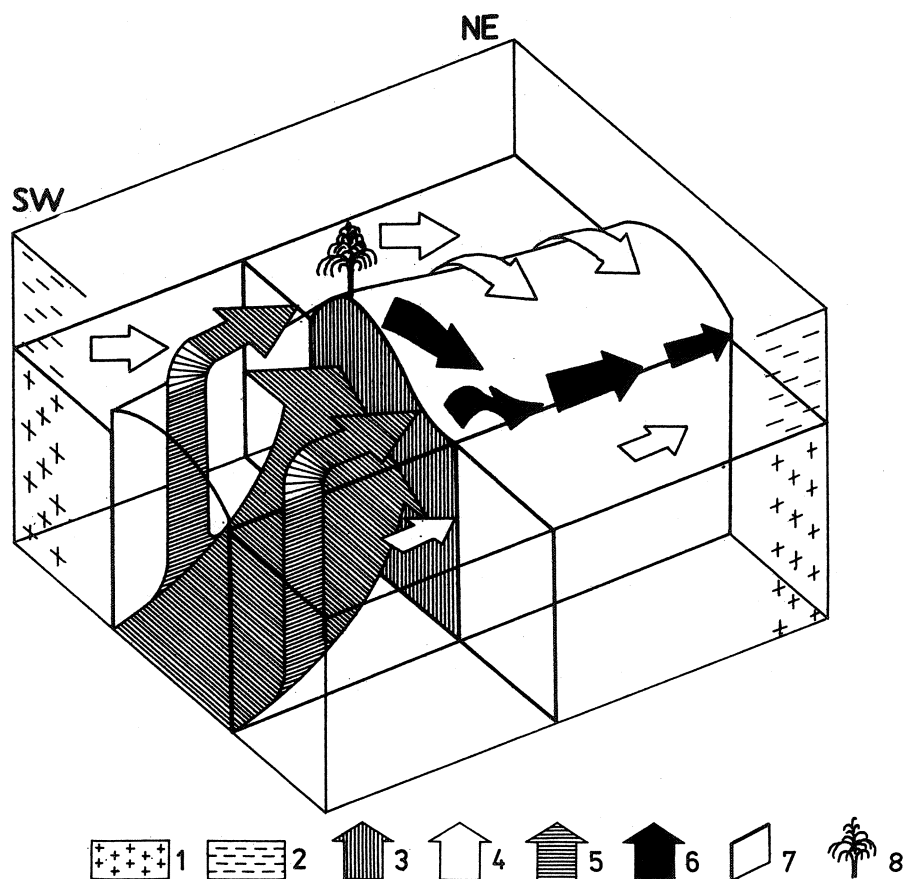


Fig. 9. Schemat tworzenia się anomalii hydrogeochemicznej Cieplic Śl.-Zdroju. 1 – granit, 2 – utwory czwartorzędowe, 3 – wody termalne typu  $\text{SO}_4-\text{HCO}_3-\text{Na}$ , 4 – wody zwykłe typu  $\text{SO}_4-(\text{HCO}_3-\text{Cl})-\text{Ca}-(\text{Mg}-\text{Na})$  oraz  $\text{HCO}_3-(\text{SO}_4-\text{Cl})-\text{Ca}-\text{Na}-(\text{Mg})$ , 5 – wody głębszego krążenia typu  $\text{HCO}_3-(\text{SO}_4)-\text{Na}-\text{Ca}$ , 6 – wody mieszane typu  $\text{HCO}_3-\text{SO}_4-(\text{Cl})-\text{Na}-(\text{Ca})$ , 7 – strefy uskokuwe, 8 – źródła wód termalnych

Fig. 9. Scheme showing the formation of the hydrogeochemical anomaly of Cieplice Śląskie Zdrój. 1 – granite, 2 – Quaternary sediments, 3 – thermal waters of  $\text{SO}_4-\text{HCO}_3-\text{Na}$  type, 4 – normal waters of  $\text{SO}_4-(\text{HCO}_3-\text{Cl})-\text{Ca}-(\text{Mg}-\text{Na})$  and of  $\text{HCO}_3-(\text{SO}_4-\text{Cl})-\text{Ca}-\text{Na}-(\text{Mg})$  types, 5 – waters of deep circulation of  $\text{HCO}_3-(\text{SO}_4)-\text{Na}-\text{Ca}$  types, 6 – mixed waters of  $\text{HCO}_3-\text{SO}_4-(\text{Cl})-\text{Na}-(\text{Ca})$  type, 7 – fault zones, 8 – springs of thermal waters

po obu stronach grzbietu granitowego. Południowy wypływ wody ma miejsce w obrębie niskooporowej anomalii ośrodka (Fistek *et al*, 1975), zaś północno-zachodni – w wyraźnym obniżeniu stropu granitu, nie objętym badaniami geofizycznymi. Wody te przepływają następnie po granicy ku NE i natrafiając na wypływające poprzeczną szczeliną wody termalne mieszają się z nimi tworząc kolejny typ:  $\text{HCO}_3 - \text{SO}_4 - (\text{Cl}) - \text{Na} - (\text{Ca})$ . Wody tego typu, pochodzące początkowo z mieszanina się wód dwu typów poprzednich, spływają ku NE południowym zboczem grzbietu, tworząc ograniczony strumień. Spychane są tu przez napływające od zachodu wody zwykłe, a do ich rozlewania się ku E nie dopuszczają również zwykłe wody płynące od SW. Stąd też oczywistym staje się fakt, że w miarę przepływu na NW wody omawianego typu zmniejszają swoją mineralizację mieszając się z wodami zwykłymi.

Przedstawione zagadnienie scharakteryzowane zostało tylko w kategoriach jakościowych ze względu na zbyt małą ilość danych. Uważamy jednak za celowe zaprezentowanie naszych rozważań, ponieważ mogą one mieć znaczenie dla ochrony wód termalnych eksploatowanych w Cieplicach Śląskich-Zdroju, jak też i dla dalszych prac poszukiwawczych.

#### LITERATURA CYTOWANA – REFERENCES

- Analizy fizyczno-chemiczne wód leczniczych, wód stołowych i borowin. Praca zbiorowa pod redakcją A. Jarockiej., 1976. *Problemy Uzdrowiskowe.*, 9/12: 66–81. Warszawa.
- Dowgiałło, J., 1976. Wody termalne Sudetów. The Sudetes thermal waters. *Acta Geol. Pol.*, 26; 617–647. Warszawa.
- Fistek, J., Iwanowski, S., Iciek, A. & Jagódziński, A., 1975. Badania geologiczne, geofizyczne i hydrogeologiczne jako przykład kompleksowego rozwiązania problemu poszukiwania wód leczniczych w uzdrowiskach sudeckich. *Biul. Inform. Geofizyka.*, 1: 5–30. Warszawa.
- Fistek, J. & Tęsiorska, H., 1973. Problemy genezy wód termalnych Cieplic Śląskich Zdroju. Problems of origin of thermal waters of Cieplice Śląskie Zdrój. *Biul. Inst. Geol.*, 264: 129–136. Warszawa.
- Frech, 1911. Schlesiens Heilquellen in ihrer Beziehung zum Bau der Gebirge. *Ztsch. Balneol.*, 4: 15.
- Iwanowski, S., 1973. *Dokumentacja hydrogeologiczna wód leczniczych z otworów Cieplice-1 i Cieplice-2 w Cieplicach Śląskich Zdroju*. Archiwum Biura Projektów Balneoprojekt, Warszawa (praca niepublikowana – unpublished).
- Michniewicz, M. & Mroczkowska, B., 1976. *Hydrogeologia obszaru górnej części rzeki Bóbr*. Archiwum Instytutu Geologicznego, Wrocław (praca niepublikowana – unpublished).
- Mroczkowska, B., Mroczkowski, J. & Ostaficzuk, S., 1983. Origin of the Cieplice thermal waters – an example of Landsat image analysis in hydrogeology. *Bull. Pol. Acad. Sci., Earth Sci.*, 31: 21–25. Warszawa.

#### SUMMARY

The spa of Cieplice Śląskie Zdrój is the only occurrence of thermal waters in the Polish part of the Karkonosze Mts. Here also occurs the only hydrogeochemical anomaly in the area. Geological exploratory works realized in the sixties and seventies provided many new hydrogeochemical data for the area within the 5 km distance from the center of Cieplice (Fig. 1).

The hydrogeochemical background of this area is represented by shallow normal waters belonging to the type  $\text{SO}_4 - (\text{HCO}_3, \text{Cl}) - \text{Ca} - (\text{Mg}, \text{Na})$  or  $\text{HCO}_3 - (\text{SO}_4, \text{Cl}) - \text{Ca} - \text{Na} - (\text{Mg})$ , the latter being artesian waters. Three other chemical types of water forming a distinct anomaly can be distinguished against this background:  $\text{HCO}_3 - \text{SO}_4 - (\text{Cl}) - \text{Na} - (\text{Ca})$ ,  $\text{HCO}_3 - (\text{SO}_4) - \text{Na} - \text{Ca}$ , and  $\text{SO}_4 - \text{HCO}_3 - \text{Na}$  (thermal waters) (Figs. 3–8).

The data analysis suggests the probable process of the anomaly formation. Thermal waters of deep, long-distance circulation rise to the surface through a fault zone in the granitic elevation oriented NW–SE. The effluences are arranged in line but are partly masked by surficial sediments. The springs are situated in places where the cover sediments are less thick. The thermal waters emerging from the fault zone flow to NE down the upper surface of the granite elevation, mixing partially with waters of  $\text{HCO}_3 - (\text{SO}_4) - \text{Na} - \text{Ca}$  type (Fig. 9). The latter waters, flowing from SW, confine the extent of the thermal waters. Part of these waters emerges somewhat earlier in strongly fractured zones on both sides of the granite elevation. Southern effluence is situated in a zone of low resistivity geoelectric anomaly. The NW effluence is situated in a distinct depression of granite upper surface. The waters later flow over the granite to NE and, meeting the thermal waters, emerging from a transversal fracture, they mix with the latter, forming a new type:  $\text{HCO}_3 - \text{SO}_4 - (\text{Cl}) - \text{Na} - (\text{Ca})$ . The waters of this type flow down to NE over the southern slope of the granite elevation in a confined stream, sustained in this position by normal waters flowing from the west and from the SW. Flowing towards the NE the waters of the last mentioned type are gradually mixed with normal waters, and decrease in mineralisation.