

PROBLEMATYKA HYDROGEOTERMICZNA REGIONU SUDECKIEGO

UKD 552.512:551.735.1](234.57):061.3

Wzrastający szybko deficyt energii i zagrożenie środowiska, w wyniku użytkowania paliw konwencjonalnych, stwarzają konieczność intensyfikacji badań dotyczących występowania i możliwości energetycznego wykorzystania zasobów geotermicznych. Koncepcje użytkowania tych zasobów w Polsce na niektórych obszarach niżu i na Podhalu zaczynają nabierać realnych kształtów. Region sudecki (Sudety wraz z blokiem przedsudeckim) nie był dotychczas brany pod uwagę z tego punktu widzenia.

Większość wycinkowych badań geotermicznych przeprowadzonych na obszarach polskiej części Sudetów i bloku przedsudeckiego ogranicza się do stref występowania wód leczniczych. W nielicznych głębszych wierceniach, zlokalizowanych poza obszarami uzdrowisk, wykonano zapewne profilowanie temperatury, jednakże w większości przypadków autor nie dysponował wynikami tych badań. To samo dotyczy obserwacji i pomiarów termicznych wykonanych w kopalniach, zwłaszcza węgla kamiennego. Jakkolwiek próba przedstawienia syntezy geotermicznej regionu byłaby więc przedwczesna; będzie to wymagać nie tylko zestawienia całości istniejących materiałów, lecz również przeprowadzenia niektórych badań podstawowych – jak pomiary gęstości ziemskiego strumienia ciepłego. W polskiej części Sudetów wykonano dotychczas zaledwie jeden taki pomiar. Wobec nieistnienia lub niedostępności wielu istotnych informacji uzasadnione jest skoncentrowanie się na kilku wybranych obszarach i zagadnieniach, a także zwrócenie uwagi na potrzebę badań i zasugerowanie ich kierunków.

Stosowane w dalszym ciągu artykułu pojęcie wody termalnej wymaga bliższego omówienia. Na podstawie praktyki lecznictwa uzdrowiskowego przyjmuje się dość powszechnie 20°C na wypływie ze źródła lub otworu wiertniczego jako dolną granicę temperatury wód termalnych. Z punktu widzenia wykorzystania energii cieplnej wód podziemnych nie jest to uzasadnione. Bardziej celowy wydaje się podział na wody o wysokiej entalpii (powyżej 150°C), mogące służyć do bezpośredniego poruszania generatorów energii elektrycznej i wody o niskiej entalpii (poniżej 150°C). Te ostatnie mogą być wykorzystywane do celów energetycznych (w tym także do produkcji energii elektrycznej przy zastosowaniu odpowiednich urządzeń) a ponadto w hodowli, przemyśle spożywczym, przetwórstwie itp., nie mówiąc o zastosowaniach leczniczych i rekreacyjnych. Możliwość stosowania pomp ciepłych pozwala wykorzystywać w ogrzewnictwie również wody o temperaturze niższej od 10°C. Chociaż więc im cieplejsza jest woda podziemna, tym bardziej ekonomiczne staje się jej użytkowanie, nie ma obecnie powodu aby traktować temperaturę 20°C jako absolutną wartość graniczną. W polskich warunkach klimatycznych jest ona natomiast przydatna, wskazuje bowiem na wyraźne podwyższenie temperatury wody w stosunku do przeciętnych temperatur wód podziemnych płytkiego krążenia.

PRZEGLĄD NOWSZYCH BADAŃ WÓD TERMALNYCH REGIONU SUDECKIEGO

Warunki geologiczne występowania wód termalnych w Sudetach, wyniki badań laboratoryjnych i rozważania

dotyczące pochodzenia i zasobów tych wód przedstawiono na tle historii badań ponad 10 lat temu (10). Na tle przeglądu wcześniejszej literatury zawiera ona szczegółowe dane o tych wodach na obszarach Sudetów Zachodnich (Cieplice, Janske Lazne, Batňovice, Łądek) oraz Wschodnich (Bludov, Velke Losiny). Rozpatrzono w niej ponadto możliwość występowania wód termalnych na obszarach, w których nie były one dotychczas znane, jak np. w Górach Izerskich, w Górach Bystrzyckich i na bloku przedsudeckim. Zwrócono także uwagę na to, że niektóre chłodne wody o wysokiej zawartości CO₂ mogą być wychłodzonymi wodami termalnymi. Podkreślono wreszcie rolę ciepła radiogenicznego w kształtowaniu strumienia ciepłego na obszarze masywu granitowego Karkonoszy.

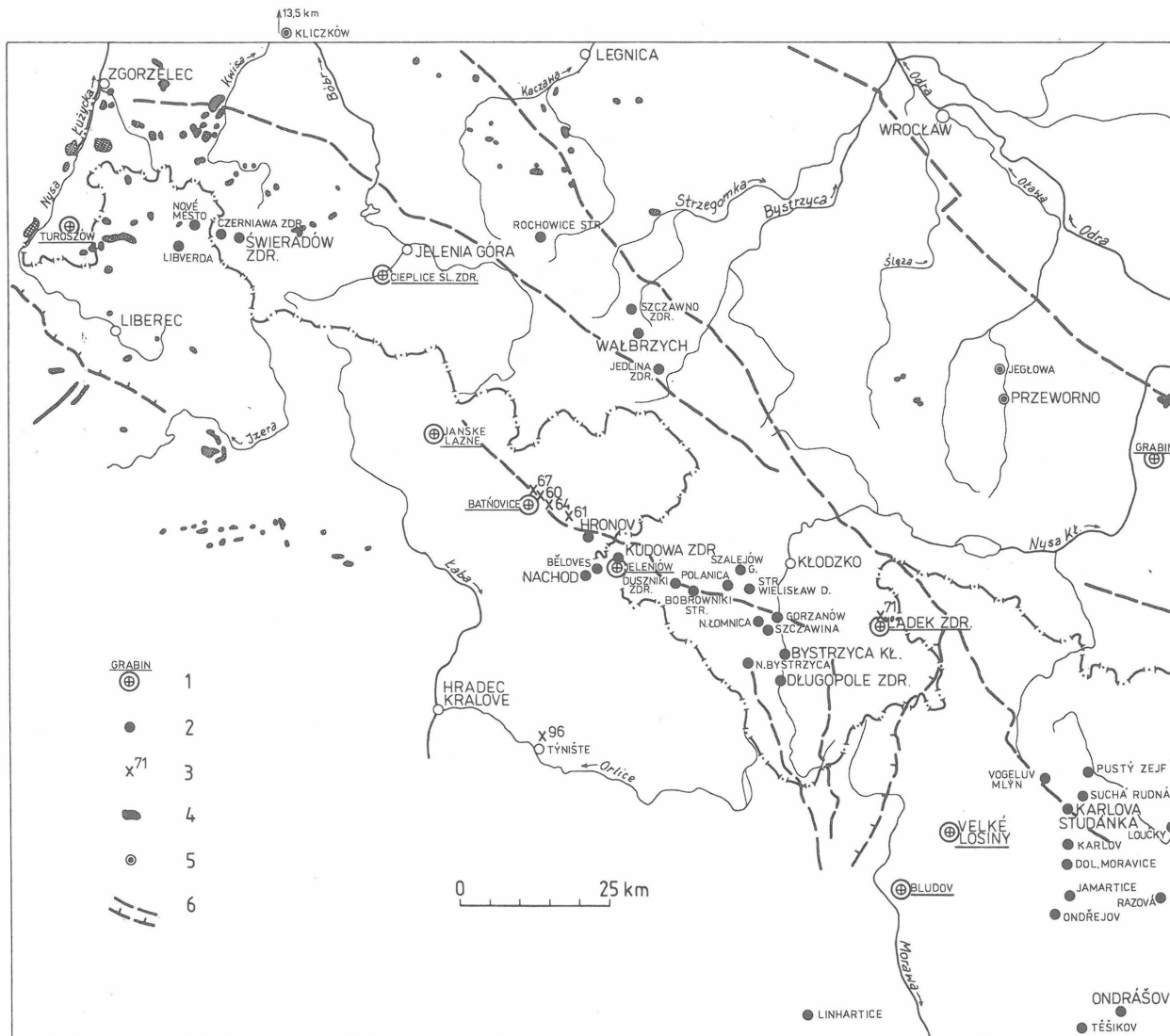
Na przestrzeni ubiegłych 10 lat nowe badania uzupełniły nieco znajomość zagadnień hydrogeotermicznych w regionie sudeckim. Odkryto wody termalne w Jeleniowie k. Kudowy (20), w kopalni Turów (6) oraz w Grabinie k. Niemodlina (22). Zastosowanie szerokiego wachlarza geotermometrów chemicznych (11–13) pozwoliło szerzej rozbudować hipotezę dotyczącą „kryptotermalnego” charakteru niektórych szczaw i spowodowało dyskusję na ten temat (37, 15). Łączne zastosowanie geotermometrów i analizy materiałów geofizycznych stało się podstawą wysunięcia hipotezy o istnieniu dodatniej anomalii geotermicznej w rejonie Dusznik (Dowgiałło 1971). Duże znaczenie dla określenia warunków występowania wód termalnych mają wykonane w ostatniej dekadzie opracowania danych teledetekcyjnych i wyznaczenie fotolineamentów mogących stanowić strefy krążenia tych wód (m. in.: 1, 30, 36).

W znanych dotychczas rejonach występowania wód termalnych prowadzono rozmaitego rodzaju badania uzupełniające, które dostarczyły nowych danych hydrogeologicznych i geochemicznych. Podjęto też kolejne próby określenia pochodzenia tych wód oraz analizowano możliwości ich ujęcia. Omówienie wyników tych badań znajdziemy w pracach Dowgiałły, Leśniaka, Fistka, Szarszewskiej, Jetela, Rybařowej, Řeznička, Ciężkowskiego, Koszeli, Mroczkowskiej, Grabczaka i Zuber (16, 21, 24, 25, 26, 20, 34, 4, 5, 3, 7).

Jak widać z powyższego przeglądu problematyka wód termalnych w Sudetach budzi duże i zrozumiałe zainteresowanie. Nie oznacza to jednak istnienia a tym bardziej realizacji całościowego programu badań, w wyniku których mogłoby nastąpić pełne rozpoznanie regionu z punktu widzenia występowania i możliwości energetycznego wykorzystania zasobów geotermicznych.

OBSZARY PERSPEKTYWICZNE DLA POSZUKIWAŃ ZASOBÓW GEOTERMICZNYCH

Blok karkonosko-izerski. Występowanie wód termalnych w obrębie bloku karkonosko-izerskiego znane jest w Cieplicach Zdroju (granit Karkonoszy) oraz w Janskich Laznach (metamorfik południowych Karkonoszy). W obrębie metamorfiku izerskiego występują chłodne szczawy Świeradowa i Czerniawy. Geotermometry chemiczne zdają się wskazywać, że w swym obiegu podziemnym wody te przeszły przez fazę temperatur wyższych niż obserwowane na powierzchni (11–13), jakkolwiek wyników tych obli-



Ryc. 1. Wody termalne regionu sudeckiego

Fig. 1. Thermal waters in the Sudetic region

1 – wody termalne (temperatura na wypływie $\geq 20^\circ\text{C}$), 2 – wody przesycone CO_2 (temp. na wypływie $< 20^\circ\text{C}$), 3 – punkty pomiaru strumienia ciepłego z wartościami w mW/m^2 , 4 – neowulkanity, 5 – ślady młodotrzeciorniczych procesów hydrotermalnych, 6 – niektóre ważniejsze uskoki i nasunięcia

1 – thermal waters (temperature at the outflow $\geq 20^\circ\text{C}$), 2 – waters oversaturated with CO_2 (temperature at the outflow $< 20^\circ\text{C}$), 3 – points of heat flow measurements (values in mW/m^2), 4 – neovolcanites, 5 – traces of Late Tertiary hydrothermal processes, 6 – some more important faults and overthrusts.

czeń nie można traktować jednoznacznie. Znajdujące się po czechosłowackiej stronie granicy szczawy Libverdy i Nowego Mesta nie były pod tym względem rozpatrywane ze względu na niekompletność dostępnych danych analitycznych. Możliwość stosunkowo niegłębokiego występowania wód termalnych w Świeradowie i Czerniawie wynika także zdaniem Fistka (17) z wykonanej przez niego analizy budowy geologicznej w rejonie tych miejscowości.

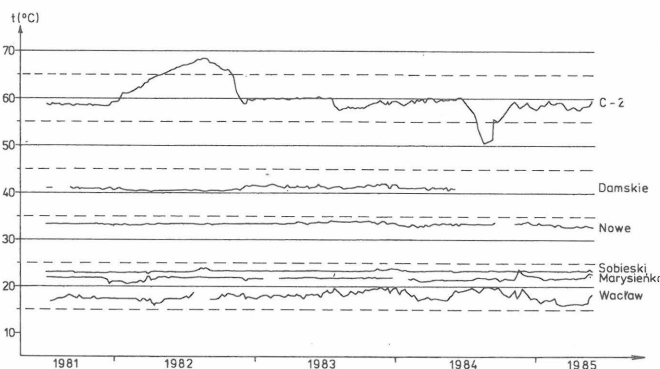
Wody termalne Cieplice występują w źródłach, a także zostały ujęte otworami wiertniczymi. Należą one do wspólnego, infiltracyjnego systemu hydrogeologicznego, a wypływy z poszczególnych ujęć różnią się od siebie jedynie proporcjami, w jakich głębokie wody termalne są zmieszane z wodami płytkiego krążenia.

Z punktu widzenia potencjału energetycznego interesujące są głównie wody o najwyższej temperaturze, w najmniejszym stopniu wychładzane przez dopływy przypowierzchniowe. Taka woda ujęta jest otworem wiertniczym Cieplice-2 o głębokości 750 m, wykonanym w 1972 r. Maksymalna wydajność samowypływu, wynosząca ponad $50 \text{ m}^3/\text{h}$ przekraczała tu kilkakrotnie łączną wydajność

pozostałych ujęć. Najwyższa temperatura obserwowana dotychczas na wypływie wynosi 68°C .

Wartość ta wymaga omówienia w świetle obserwacji stacjonarnych prowadzonych systematycznie od czasu zakończenia wiercenia. Temperatura zmierzona wówczas na dnie otworu, tj. na głębokości 750 m wynosiła 68°C . W trakcie eksploatacji prowadzonej przy przydługim samowypływie ustabilizowała się ona w granicach $58 - 59^\circ\text{C}$. Sytuacja ta uległa zmianie w 1982 r., kiedy to przy nie zmienionych warunkach eksploatacji nastąpił stopniowy wzrost temperatury samowypływu do 68°C (ryc. 2). Po osiągnięciu maksimum w sierpniu 1982 r. temperatura zaczęła obniżać się stopniowo, ale do połowy 1985 r. nie ustabilizowała się. Temperatura wody termalnej w źródłach i płytkich odwiertach pozostających w niewątpliwym związku hydraulicznym z otworem Cieplice-2 nie uległa w tym czasie zmianom odbiegającym od obserwowanych na przestrzeni wielolecia*.

* Pomiary wykonane są systematycznie i z dużą dokładnością pod kierunkiem mgr W. Fortuny, geologa uzdrowiska Cieplice.



Ryc. 2. Zmienność temperatury samowypływu z otworu C-2 w Cieplicach na tle temperatur wody w innych ujęciach

Fig. 2. Variability of water temperature at the outflow from the borehole C-2 at Cieplice against the background of water temperatures in other springs and boreholes

Przyczyn opisanego zjawiska nie udało się dotychczas ustalić. Wpływ ruchów sejsmicznych należy raczej wykluczyć, ponieważ w okresie wzrostu temperatury wody i w czasie bezpośrednio poprzedzającym ten wzrost nie notowano w Sudetach poważniejszych wstrząsów. Jakiekolwiek jednak były czynniki powodujące znaczny wzrost a następnie spadek temperatury wody, wartość 68°C stanowi najwyższą temperaturę, jaką kiedykolwiek zanotowano w wodach podziemnych Sudetów. Wskazuje ona na to, że szacunkowe temperatury wód osiągalnych wierceniami średniej głębokości, dochodzące do 100°C lub nawet przekraczające tę wartość nie są pozbawione prawdopodobieństwa.

Za wyróżnieniem masywu granitowego Karkonoszy z punktu widzenia warunków geotermicznych przemawia m.in. zawartość uranu i toru wyższa w granicie niż w innych masywach granitowych Dolnego Śląska. Według Jelińskiego (23) zawartości uranu wynoszą tu najczęściej 12–15 g/t, dochodząc niekiedy do 75 g/t, gdy najczęściej spotykane zawartości toru wynoszą 20–25 g/t, rzadko przekraczając 50 g/t. Wysokie zawartości pierwiastków promieniotwórczych w przeliczeniu na zawartość uranu podaje również Matolin (28), dla granitu karkonoskiego po stronie czechosłowackiej.

Łączna ilość ciepła radiogenicznego, produkowanego w skałach głównie w wyniku przemian promieniotwórczych uranu, toru i potasu-40 nie pozostaje bez wpływu na wartość strumienia ciepłego na danym obszarze. Według Rybacha (35) ciepło radiogeniczne produkowane w granitach zwiększa powierzchniowy strumień ciepły o 2,5 mW/m² na każdy kilometr miąższości granitu. Dla granitu karkonoskiego, szczególnie bogatego w uran i tor, wzrost gęstości powierzchniowego strumienia ciepłego spowodowany przez rozpad promieniotwórczy może więc wynosić od kilku do kilkunstu mW/m².

Możliwość istnienia podwyższonych wartości strumienia ciepłego na obszarach występowania skał metamorficznych okrywy granitu karkonoskiego, w szczególności granitognejsów izerskich wynika m. in. stąd, że granit występuje także pod tymi skałami (31). Obecność licznych wylewów i żył młodotrzeciorzędowych bazaltów świadczy o niedawnym, silnym podgrzaniu obszaru. Wulkanizm ten przyczynił się niewątpliwie do znacznego rozproszenia energii cieplnej, nie można jednak wykluczyć istnienia w niegłębkim podłożu pułapek magmowych (17). Dwutlenek węgla występujący w wodach podziemnych Świeradowa, Czerniawy, Libverdy i N. Mesta pod Smerekim nie

stanowi wprowadzie dowodu na istnienie takiej sytuacji, ale zdaje się za nią przemawiać. Pačes i Čermak (32) uważają obecność wód bogatych w CO₂ w rowie tektonicznym Gór Kruszcowych za jedną ze wskazówek występowania tu podwyższonych wartości strumienia ciepłego.

Wody termalne Janskich Lazni mogą zawdzięczać swoją temperaturę podwyższonemu gradientowi geotermicznemu. Ich występowanie może być jednak wynikiem głębokiej penetracji i ogrzewania wód infiltracyjnych do temperatury nie przekraczającej tu 30°C na wypływie, także przy istnieniu gradientów nie odbiegających od przeciętnych. Przy dużych deniwelacjach terenu i tektonicznym zaangażowaniu występujących tu skał metamorficznych infiltracja do głębokości rzędu 1000 m nie jest nieprawdopodobna.

Synklinorium śródsudeckie i niektóre obszary przyległe.

W synklinorium śródsudeckim nie stwierdzono dotychczas zjawisk stanowiących bezpośrednią wskazówkę występowania wód podziemnych o wysokich temperaturach. Istnieje jednak wiele przesłanek pozwalających przyjąć, że jest to prawdopodobne.

Na obszarze synklinorium nie są znane wystąpienia neowulkanitów. Zwraca na to uwagę Oberc (31), podkreślając brak erupcji bazaltowych w synklinorium. Panująca tu kompresja uniemożliwiła, zdaniem tego badacza, wydobywanie się produktów wulkanizmu na powierzchnię. Nie oznacza to oczywiście, że polaramijski transport magmy bazaltowej nie miał miejsca w podłożu synklinorium śródsudeckiego. Wulkanizm bazaltowy zaznaczył się np. na przyległym obszarze metamorfiku łądecko-śnieżnickiego. Zarówno w samym synklinorium i w rowie górnej Nysy Kłodzkiej, jak i na przyległych obszarach Gór Bystrzyckich i Gór Orlickich znajdujemy liczne wystąpienia wód przesyconych dwutlenkiem węgla, którego związek genetyczny z magmą bazaltową jest wysoce prawdopodobny.

Fakt, że w synklinorium śródsudeckim wulkanizm neogeński nie zaznaczył się na powierzchni jest z punktu widzenia warunków geotermicznych korzystny. Z erupcjami wulkanicznymi wiąże się utrata ogromnej ilości ciepła wynoszonego z podłoża. Niska lepkość magmy bazaltowej nadaje jej dużą ruchliwość ułatwiając penetrację w skały otaczające i ochładzanie się na kontakcie z tymi skałami. Z bazaltowym wulkanizmem powierzchniowym rzadko związane są dodatnie anomalie geotermiczne, chyba że jest on współczesny, a przynajmniej popliociński. Jeżeli jednak czynniki tektoniczne uniemożliwiają magmie wydobyć się na powierzchnię, może ona długo zachować swoją energię cieplną pozostając w pułapkach magmowych. Przyczynia się ona wów zas do lokalnego podwyższenia normalnego strumienia ciepłego zarówno pochodzącego z górnego płaszczu, jak i generowanego w skorupie.

Występowanie dwutlenku węgla, mającego prawdopodobnie związek genetyczny z masami upłynnionej w trzeciorzędzie magmy bazaltowej wiąże się głównie z przebiegiem dyslokacji mających niekiedy zasięg regionalny jak strefa Poříč – Hronov – Czerma – Gorzanów, której rolę w transporcie CO₂ ku powierzchni podkreśla Fistek (19). Często pojawia się on w miejscach, gdzie dyslokacje takie przecięte są przez młodsze uskoki poprzeczne (np. uskoki Dusznik). Występowanie szczaw nie ogranicza się do stref dyslokacyjnych tam, gdzie migrację CO₂ umożliwia przepuszczalność pierwotna skał osadowych (np. piaskowce górnokredowe w rejonie Polanicy).

W otoczeniu synklinorium śródsudeckiego na uwagę zasługuje strefa, w której utwory metamorficzne Gór Orlickich i Bystrzyckich zapadają pod osady górnej kredy tego synklinorium wzdłuż wspomnianej już dyslokacji Poříč – Gorzanów. Występujące tu szczawy Dusznik i

Starych Bobrownik wykazują cechy zdające się wskazywać, że warunki geotermiczne są tu szczególnie korzystne.

Szczały dusznickie ujęte są kilkoma odwiertami, których głębokość wynosi od kilkunastu do 165 m. Ich temperatura przy eksploatacji samowypływem dochodzi niekiedy do 19°C (Pieniawa Chopina). Profilowanie temperatury w otworach wiertniczych przy okazji ich rekonstrukcji nie zostało wprawdzie wykonane przy całkowicie ustalonym reżimie cieplnym, wskazuje jednak na istnienie tu podwyższonych gradientów geotermicznych, mogących wynosić około 0,1°C/m. Jest to wartość blisko trzykrotnie przekraczająca średni gradient geotermiczny przyjmowany dla obszaru europejskiego. Potwierdzają ją temperatury zmierzone na dnie otworów.

Obliczenia temperatur oparte na niektórych geotermometrach chemicznych pozwalają przypuszczać, że równowaga termodynamiczna pomiędzy wodami głębokiego krążenia a skałami metamorficznymi, w których te wody występują ustalała się w temperaturze przekraczającej 70°C, a być może niewiele niższej od 100°C. Stosowanie części geotermometrów chemicznych do wód o wysokiej zawartości CO₂ wymaga dużej ostrożności. Są to ponadto wody zawierające domieszkę składnika pochodzącego z infiltracji bezpośredniej lub prawie bezpośredniej, o czym świadczy zarówno stosunkowo znaczna zawartość trytu (7, 14) jak i dopływy wody chłodniejszej, widoczne na wykresach profilowania temperatury. Przyjmując, że dopływy te nie zmieniają w istotny sposób proporcji poszczególnych składników, na stężeniu których oparto obliczenia geotermometryczne, można uzyskane wyniki uznać za prawdopodobne. Znalazły one ostatnio potwierdzenie w wynikach obliczeń geotermometrycznych opartych na składzie izotopowym tlenu w wodzie i rozpuszczonych w niej siarczanach. Uzyskane tą metodą temperatury szacunkowe znajdują się w przedziale 80–90°C (14).

Szacunkowe gradienty geotermiczne oraz wyniki obliczeń geotermometrycznych pozwalają przypuszczać, że wody o temperaturze około 90°C możliwe są do uzyskania w rejonie Dusznik już na głębokości około 1000 m, pod warunkiem natrafienia na strefę o wystarczająco dużej szczelinowatości. Istnienie hipotetycznej dusznickiej anomalii geotermicznej (14) wymaga potwierdzenia wierceniami. Przedwczesna byłaby także próba określenia jej charakteru i struktury. Zasadniczą rolę w kształtowaniu wysokości strumienia ciepłego pełni tu zapewne jego składowa konwekcja.

Na NW od rejonu Dusznik znajduje się synklinorium Kudowy, której NW przedłużenie stanowi rów tektoniczny Poříči–Hronov. W jego obrębie wykonano 4 oznaczenia wartości strumienia ciepłego, których wyniki podaje Čermak (1968). Oznaczenia te pochodzą z otworów ST-5 (Stražkovice), ST-7 (Stražkovice), ST-8 (Male Svatoňovice) oraz RO-1 (Rokytník) o głębokościach średnio około 1000 m. Najwyższa ze stwierdzonych tu wartości strumienia ciepłego wynosi 67 mW/m², pozostałe zaś 60–64 mW/m². Wartości te nie odbiegają od przeciętnych i nie wskazują na istnienie w tym rejonie dodatniej anomalii geotermicznej. Natomiast w odwiercie BA-1 (Baňovice) położonym w obrębie rowu Poříči–Hronov stwierdzono, że temperatura wody dopływającej na głębokości 1250–1280 m wynosi 58°C. Jej obniżenie do 31°C na samowypływie związane jest z dopływami wód chłodniejszych na mniejszych głębokościach. Szacunkowy gradient geotermiczny mógłby więc tu, podobnie jak w Dusznikach wynosić 0,1°C/m.

W samej synklinie Kudowy wodę o temperaturze przekraczającej 20°C i samoczynnym wypływie uzyskano

w otworze P-5 w Jeleniowie. Zawiera ona dużą ilość CO₂. Szczały chłodne o temperaturze niekiedy wyższej od 15°C ujęto otworami o głębokości nie przekraczającej 200 m w Kudowie i w okolicznych miejscowościach, także po czechosłowackiej stronie granicy.

Za możliwością występowania korzystnych warunków geotermicznych w podłożu utworów osadowych, wypełniających synklinę Kudowy, przemawia również obecność w jej wschodnim obrzeżeniu masywu granitowego, którego przebieg pod seriami metamorficznymi nie jest znany. Granit ten charakteryzuje się stosunkowo wysoką zawartością pierwiastków promieniotwórczych. Wprawdzie zawartość uranu jest tu niższa niż w granicie karkonoskim, natomiast pod względem zawartości toru granit Kudowy niewiele ustępuje temu ostatniemu (23). Nie ma powodu wykluczyć, że granit kudowski łączy się z intruzją Nowego Hradka, położoną na SW od synkliny Kudowy. Jej metamorficzne podłoże byłoby wówczas podścielone skałami o stosunkowo wysokiej produkcji ciepła radiogenicznego. Na marginesie tego zagadnienia warto podkreślić, że granit kudowski może sięgać również ku południowemu wschodowi w rejon Dusznik. Przypuszczenie to znalazło potwierdzenie w otworze hydrogeologicznym Łężyce 3, około 3 km na N od Dusznik, gdzie pod otworami kredy granit kudowski istotnie występuje (dr J. Fistek, wiadomość ustna).

Oprócz wymienionych wyżej obszarów dusznickiego i kudowskiego nie stwierdzono dotychczas podwyższonych temperatur wód podziemnych w bezpośrednim otoczeniu synklinorium śródsudeckiego. Może to jednak wynikać nie tyle z niskich czy zaledwie przeciętnych wartości strumienia ciepłego ile być spowodowane intensywnym przepływem i znaczną odnawialnością wód podziemnych w tych utworach, w których wody te zostały rozpoznane i są eksploatowane, a więc w kredzie centralnej części synklinorium śródsudeckiego i rowu górnej Nysy Kłodzkiej oraz w utworach krystalicznych obrzeżenia tych jednostek.

Za możliwością występowania korzystnych warunków geotermicznych w synklinorium śródsudeckim przemawiają również warunki geotermiczne panujące w obrębie północnoczeskiego basenu kredowego. Basen ten, oddzielony od synklinorium śródsudeckiego antyklinalną strukturą Gór Bystrzyckich i Gór Orlickich wykazuje pewne analogie z tym synklinorium. Jedną z nich jest subsydencja względem regionów przyległych i związana z nią sedimentacja rozpoczęta już w karbonie.

W basenie tym obserwuje się wysokie wartości strumienia ciepłego, przekraczające 70 mW/m². Zdaniem Čermaka (8) zjawisko to można częściowo wytłumaczyć zwiększonym dopływem ciepła z górnego płaszcza Ziemi w wyniku ścienienia skorupy. Największe wartości strumienia ciepłego grupują się tu wzdłuż linii, która w przybliżeniu pokrywa się z osią basenu (tzw. linia Łaby) o przebiegu NW–SE. Na południowo-wschodnim przedłużeniu tej linii znajduje się izolowany punkt (Tynište n. Orlicą), w którym stwierdzona wartość strumienia ciepłego wynosi 96 mW/m². Jest to najwyższa (poza rejonem Gór Kruszcowych) z wartości znanych dotychczas na obszarze Masywu Czeskiego, zestawionych przez Čermaka (9). Na uwagę zasługuje fakt, że pod utworami kredowymi, od głębokości 513 m występuje tu granodioryt (27).

Meier i in. (29) są raczej skłonni wiązać anomalię geotermiczną linii Łaby z przebiegającymi tu dyslokacjami o kierunku NW–SE, przyjmując możliwość dodatkowego, konwekcyjnego transportu ciepła w tej strefie. Zdaniem ich, wydłużony kształt anomalii przemawia przeciwko wyjaś-

nianiu ich lateralnym zróżnicowaniem grubości skorupy ziemskiej i jej składu litologicznego.

Metamorfik Śnieżnika Kłodzkiego, Krowiarek, Gór Białych i Gór Złotych. Fakt występowania wód termalnych w Łądku-Zdroju pozwala rozpatrywać obszar położony na E od rowu górnej Nysy Kłodzkiej pomiędzy Śnieżnikiem Kłodzkim a Złotym Stokiem jako rokujący nadzieję dla poszukiwań geotermicznych. Pierwszy i jak dotychczas jedyny na terenie polskiej części Sudetów pomiar ziemskiego strumienia ciepłego wykonany w Łądku dał wynik 71,2 mW/m², przypuszcza się jednak, że może on być obarczony błędem $\pm 20\%$ (10). Na tej podstawie trudno więc mówić o dodatniej anomalii geotermicznej w rejonie Łądka.

Za możliwością istnienia na tym obszarze takiej anomalii mógłby natomiast przemawiać fakt występowania w Łądku i pobliskiej Lutyni izolowanych wylewów bazaltowych. Wiek ich określany jest na starszy plejstocen. Jeżeli nawet fakt obecności powierzchniowego wulkanizmu może przemawiać za rozproszeniem energii cieplnej w jego bliskim otoczeniu, to jednak wskazuje on na możliwość istnienia w podłożu pułapek magmowych, mających wpływ na podwyższenie wartości strumienia ciepłego.

Innym czynnikiem, którego nie należy pomijać, jest zawartość pierwiastków promieniotwórczych w utworach metamorficznych omawianego obszaru. Jest ona szczególnie wysoka w gnejsach śnieżnickich jednostki Śnieżnika, zawierających średnio 11,3 g/t uranu (33). Przeniosło (30) wydziela ponadto na badanym obszarze wiele anomalii uranometrycznych, które wiąże ze strefami zaburzeń tektonicznych. Na uwagę zasługuje fakt, że w obszarze położonym na południe od Łądka-Zdroju w odległości co najmniej 6 km, stwierdzone zawartości uranu w skałach nie przekraczają 7 g/t. Mogłoby to świadczyć o niewielkim wpływie ciepła radiogenicznego na temperaturę wód łądeckich.

Na możliwość występowania podwyższonych wartości strumienia ciepłego na omawianym obszarze wskazują wody termalne Bludova i Velkich Losin, występujące w metamorfiku Sudetów Wschodnich. Z punktu widzenia warunków geotermicznych cały obszar występowania utworów metamorficznych po obu stronach nasunięcia ramzowskiego powinien być rozpatrywany łącznie. Plejstocenijskie bazalty (Břidličina, Bruntal) oraz szczawy występujące w Sudetach Wschodnich (ryc. 1) mogą stanowić wskazówkę, że neogeńskie procesy magmowe mogły przyczynić się do powstania tu korzystnych warunków geotermicznych.

Obszar przedsudecki. Warunki geotermiczne panujące na Przedgórzu Sudeckim są jak dotychczas słabo rozpoznane, lecz istnieją podstawy do przypuszczeń, że są one korzystne. Obok występowania neogeńskich, a także czwartorzędowych bazaltów, świadczą o tym procesy hydrotermalne, jakie zachodziły tu w młodszym trzeciorzędzie. Rezultatem ich są m. in. nacieki krzemionkowe stwierdzone w Przewornie, a zapewne także kaolinizacja skał krystalicznych i występowanie żył kwarcowych w pobliżu Jegłowej. Procesom hydrotermalnym zawdzięczają być może swoje powstanie również piaskowce zsylikowane (kwarcyty) występujące na zachód od Bolesławca (okolice Kliczkowa). Powyższe dane zdają się potwierdzać poglądy, w myśl których blok przedsudecki charakteryzuje się stosunkowo wysoką gęstością ziemskiego strumienia ciepłego. Nieco szerzej omawiano te zagadnienia poprzednio, przytaczając również literaturę (10).

Rozważając możliwości uzyskania wód termalnych na Przedgórzu Sudeckim należy brać pod uwagę głównie

obszary występowania granitoidów, a także strefy w których skały krystaliczne wykazują wysoki stopień zdyslokowania (np. metamorfik środkowej Odry). Szczególne znaczenie pod tym względem może mieć intruzja granitowa Strzegom–Sobótka ograniczona od południowego zachodu uskokiem sudeckim brzeźnym. W okresie jej powstania w młodszym paleozoiku, blok przedsudecki był wydzwignięty w stosunku do dzisiejszych Sudetów, co umożliwiło głęboką erozję granitu i rozwój systemu szczelin powstałych w wyniku jego odciążenia. Należy więc przypuszczać, że możliwe tu jest głębokie krążenie wód podziemnych, analogicznie jak w granicie karkonoskim. Prawdopodobne jest także zasilanie masywu Strzegom–Sobótka od strony Sudetów, a nawet odpływ do niego części sudeckich wód termalnych. Odkrycie szczaw termalnych w Grabinie koło Niemodlina (22) stanowi potwierdzenie przypuszczeń, w myśl których obszar przedsudecki jest perspektywiczny dla poszukiwań zasobów geotermicznych.

ZAKOŃCZENIE

W pracy niniejszej pominięto wiele obszarów, które zasługują na szczegółową analizę z punktu widzenia warunków geotermicznych. Uwzględnione w niej jednostki geologiczne mają znaczenie jako obszary stwierdzonego lub bardzo prawdopodobnego występowania zasobów geotermicznych. Nie ma natomiast podstaw do twierdzenia, że zasoby takie nie występują w innych jednostkach, np. w niecce północnosudeckiej, czy w Górach Kaczawskich. Region sudecki zasługuje na szczegółowe zbadanie pod względem panujących tu warunków geotermicznych. Penetracja wiertnicza powinna być poprzedzona systematycznymi badaniami powierzchniowymi w poszczególnych subregionach. Wśród takich badań wymienić można sporządzenie map zawartości krzemionki w płytkich wodach podziemnych i zdjęcia lotnicze w podczerwieni.

Perspektywy uzyskania zasobów geotermicznych w postaci wód termalnych o niskiej entalpii w ilościach uzasadniających ich eksploatację są na obszarze Sudetów zachęcające. W niektórych strefach, jak np. w obrębie masywu granitowego Karkonoszy nie można wykluczyć możliwości eksploatacji energii cieplnej metodą HDR (hot dry rock). Próby tego rodzaju muszą być jednak poprzedzone wnikliwym zbadaniem wybranych rejonów.

Praca została wykonana w ramach CPBP 03.04

LITERATURA

1. Bażyński J., Fistek J. et al. – Interpretacja zdjęć satelitarnych w świetle badań hydrogeologicznych południowo-zachodniej części Ziemi Kłodzkiej. Tech. Posz. Geol. 1981 nr 1.
2. Ciężkowski W. – Hydrogeologia i hydrochemia wód termalnych Łądka-Zdroju. Prob. Uzdr. 1980 nr 4.
3. Ciężkowski W., Grabczak J., Zuber A. – Pochodzenie wód termalnych Cieplic Śląskich Zdroju i ich eksploatacja w świetle badań izotopowych. III Ogólnopolskie Sympozjum „Aktualne Problemy Hydrogeologii” Karniowice 1985.
4. Ciężkowski W., Koszela J. – Nowe spojrzenie na obszar zasilania wód termalnych Cieplic Śląskich Zdroju (Sudety). Mat. Symp. „Stan Rozpoznania i Perspektywy Wykorzystania Wód Termalnych”, Warszawa–Kraków 1985.

5. Ciężkowski W., Mroczkowska B. – Anomalia hydrogeochemiczna Cieplic Śląskich Zdroju. *Rocz. Pol. Tow. Geol.* 1985 nr 3–4.
6. Ciężkowski W., Sztuk T. – Wody termalne kopalni „Turów”. *Mat. Symp. „Stan Rozpoznania i Perspektywy Wykorzystania Wód termalnych”*, Warszawa–Kraków 1985.
7. Ciężkowski W., Grabczak J., Zuber A. – Wstępne wyniki badań trytu i izotopów trwałych w wodach leczniczych Sudetów. *Pr. Nauk. Inst. Geotechniki Polit. Wrocław.* 1986 vol. 49.
8. Čermak V. – Temperature – depth profiles in Czechoslovakia and some adjacent areas derived from heat flow measurements, deep seismic sounding and other geophysical data. *Tectonophysics* 1975, 26.
9. Čermak V. – Review of heat flow measurements in Czechoslovakia. [W:] Čermak V., Rybach L., red: *Terrestrial Heat Flow in Europe*, Springer, Berlin 1979.
10. Dowgiałło J. – Wody termalne Sudetów. *Acta Geol. Pol.* 1976 nr 4.
11. Dowgiałło J. – Geochemiczne wskaźniki temperatury i ich zastosowanie do sudeckich wód termalnych. *Mat. Symp. „Stan Rozpoznania i Perspektywy Wykorzystania Wód termalnych”* Warszawa–Kraków 1985.
12. Dowgiałło J. – Zagadnienie wód „kryptotermalnych” w regionie sudeckim. *Pr. Nauk. Geotechniki Polit. Wrocław.* 1986 vol. 49.
13. Dowgiałło J. – Chemical geothermometry of some Sudetic nonthermal waters. V-th Int. Symp. „Water – Rock Interaction”, 8–17 August 1986, Reykjavik, Iceland 1986 (extended abstracts).
14. Dowgiałło J. – A supposed geothermal anomaly in the Duszniki–Kudowa area (Western Sudetes), (w przygotowaniu 1987).
15. Dowgiałło J. – Odpowiedź na „Uwagi w sprawie wód kryptotermalnych Sudetów” (w przygotowaniu).
16. Dowgiałło J., Leśniak P. – Niektóre wyniki hydrogeologicznych obserwacji stacjonarnych ujęć wód termalnych w Cieplicach Śląskich Zdroju. *Biul. Geol. Wydz. Geol. UW* 1977 vol. 21.
17. Elder J. – *Geothermal systems*. Academic Press. London 1981.
18. Fistek J. – Wytyczne do ujęcia wód termalnych na obszarze Świeradowa i Czerniawy. *Maszynopis Arch. B.P. i U.T. „Balneoprojekt”* Warszawa 1975.
19. Fistek J. – Szczawy Kotliny Kłodzkiej i Gór Bystrzyckich. *Biul. Geol. Wydz. Geol. UW* 1977 vol. 22.
20. Fistek J. – Aktualny stan rozpoznania wód leczniczych Sudetów. II Ogólnopolskie Symp. „Współczesne Problemy Hydrogeologii Regionalnej” Wrocław 1983.
21. Fistek J., Szarszewska Z. – Studium dotyczące możliwości ujęcia wód termalnych w rejonie Polanicy, Dusznik i Kudowy. *Maszynopis Arch. B.P. i U.T. „Balneoprojekt”* Warszawa 1978.
22. Hordejuk T., Płochniewski Z. – Warunki występowania i zasoby szczaw termalnych w Grabinie k. Niemodlina. *Pr. Nauk. Inst. Geotechniki Polit. Wrocław.* 1986 vol. 49.
23. Jeliński A. – Geochemia uranu w granitowym masywie Karkonoszy z uwzględnieniem innych masywów granitowych Dolnego Śląska. *Biul. Inst. Geol.* 1965 nr 193.
24. Jetel J., Rybařova L. – Mineralni vody Vyhodočeskeho kraje. *Ustř. ust. geol. Praha* 1979.
25. Leśniak P. – Some ionic equilibria of Sudetic thermal waters. *Hydrogeochemistry of mineralized waters. Conference of Cieplice – Spa (Poland) 1978* Warsaw 389.
26. Leśniak P. – O interpretacji pomiaru alkaliczności w wodach termalnych Cieplic i Łądko Zdroju. *Prz. Geol.* 1984 nr 12.
27. Malkovsky M., Benešova Z. et al – *Geologie česke křidove panve a jejího podloží*. *Ustř. ust. geol. Praha* 1974.
28. Matolin M. – *Radioaktivita hornin Českeho masivu*. Academia, Praha 1970.
29. Meier R., Hurtig E., Ludwig A. – Fault tectonics and heat flow in Europe. [W:] Čermak V., Rybach L., Red: *Terrestrial Heat Flow in Europe*. Springer, Berlin 1979.
30. Mroczkowska B., Mroczkowski J., Ostaficzuk S. – Origin of the Cieplice thermal waters – an example of Landsat image analysis in hydrogeology. *Bull. Pol. Acad. Sci., Earth Sci.* 1983 vol. 31.
31. Oberc J. – Sudety i obszary przyległe. *Budowa geologiczna Polski, t. 4: Tektonika, cz. 2*. *Wyd. Geol.* 1972.
32. Pačes T., Čermak V. – Subsurface temperatures in the Bohemian Massif: Geophysical measurements and geochemical estimates. *Proc. 2nd UN Symp. „Development and Use of Geothermal Resources”*, San Francisco, May 20–29, 1975.
33. Przeniosło S. – Geochemia uranu w aluwach wschodniej części obszaru metamorfiku Łądko i Śnieżnika Kłodzkiego. *Biul. Inst. Geol.* 1970 nr 224.
34. Řezniček V. – Termalni vody ve Velkych Losinach. [W:] Puklinove a puklinovo-krasowe vody a problemy ich ochrany. *Sbornik referatov z VIII celostatnej konferencie, Liptov. Bratislava* 1984.
35. Rybach L. – Radioactive heat production in rocks and its relation to other petrophysical parameters. *Pure and Applied Geophysics* 1976, 114.
36. Solecki A. – Wody mineralne Sudetów i ich związek z tektoniką w świetle analizy obrazu Landsata i koncepcji planetarnych stref spękań. II Ogólnopolskie Symp. „Współczesne Problemy Hydrogeologii Regionalnej” Wrocław 1983.
37. Zuber A., Ciężkowski W. et al. – Uwagi na temat wód „kryptotermalnych” Sudetów. *W druku. Prz. Geol.*

SUMMARY

While considering the hydrogeothermal conditions of the Sudetic region, geological criteria have been taken into account. Thus, the notion of the Sudetic region includes both the Sudetes and the fore-Sudetic block. The insufficiency of data concerning the heat flow distribution, the occurrence of geothermal resources and the possibilities of their use have been pointed out.

A review of research work done since 1976 when a synthetic paper of the present author was published, shows that there is much interest in the problem, although a comprehensive research programme does not exist as yet. New discoveries of thermal waters (Jeleniów, Turoszów, Grabin) are rather fortuitous, than due to methodical exploration.

Except the Karkonosze–Izera block, the Łądek–Śnieżnik massif and some areas of the fore-Sudetic block,

the intra-Sudetic trough should be considered as one of the areas in which exploration might be successful. This is suggested among others by the lack of surface traces of Tertiary basaltic volcanism, the presence of the assumed Duszniki geothermal anomaly in the immediate neighbourhood of the trough, the occurrence of CO₂-rich groundwaters and the analogies with the Bohemian Cretaceous Basin within which the Tynište n/Orlica geothermal anomaly was found.

The role of Variscan granitoids and of their radiogenic heat generation is stressed. High uranium and thorium content in granites of the Karkonosze massif suggests, that besides thermal waters, heat extraction by means of the HDR (hot dry rock) method could be considered here.

РЕЗЮМЕ

Рассматривая гидрогеотермические условия судетского района причислено к этому понятию как Судеты так и предсудетский блок, опираясь на геологических критериях. Обращено внимание на всё ещё недостаточную разведку этого региона в области размещения плотности теплового потока, распространения геотермических ресурсов и возможности их использования.

Статья содержит обзор новых исследований, которых результаты были опубликованы после выхода

из печати синтетического труда автора (1976). Их число указывает на то, что эти вопросы вызывали большой интерес, хотя это не вытекает из существования программы исследований. Новые открытия термальных вод (Еленюв, Турошув, Грабин) произошли случайно, а не в результате последовательно проводимых поисков.

Рассматривая районы, где такие поиски могут дать положительные результаты, обращено внимание — кроме карконошско-изерского блока, лёндецко-снежницкого массива и некоторых районов предсудетского блока — также на междетский синклиорий. Эта единица может быть перспективной, на что указывает отсутствие поверхностного базальтового вулканизма, существование в окаймлении синклиория вероятной геотермальной аномалии Душник, распространение подземных вод перенасыщенных CO₂, а также сходство с северно-чешским меловым бассейном, в котором находится геотермическая аномалия Тыниште n/Орлицей.

Обращено также внимание на роль варисцийских гранитоидов и производимого в них радиогенного тепла в формировании величины теплового потока. Высокое содержание урана и тория в гранитах массива Карконошей позволяет предполагать, что кроме большей чем до сих пор добычи термальных вод, былабы возможна эксплуатация тепловой энергии методом ХДР.