

„GORĄCA KOPALINA” NIECKI PODHALAŃSKIEJ NA TLE INNYCH NIECEK PRZYTATRZAŃSKICH

“HOT RAW MATERIALS” OF THE PODHALE TROUGH (POLAND AND SLOVAKIA) VERSUS OTHER PERI-TATRIC TROUGHS

JÓZEF CHOWANIEC¹

Abstrakt. Obszar niecki podhalańskiej jest jednym z kilku najważniejszych obszarów geotermalnych w Polsce, charakteryzując się temperaturami w zakresie 20–86°C, mineralizacją do ok. 3 g/dm³ i dobrą odnawialnością wody. Jest to jednak transgraniczny system wodonośny i dlatego celowe jest rozważenie jego występowania w odniesieniu do parametrów połączonych z nim hydraulicznie niecek przytatrzańskich, położonych na obszarze Słowacji. Wody termalne Podhala są wykorzystywane głównie do rekreacji, w mniejszym stopniu do celów grzewczych, natomiast tylko w niewielkim stopniu do suszenia drewna, hodowli ryb i uprawy warzyw. Na obszarze Słowacji wody termalne są wykorzystywane jedynie do rekreacji. Największym zagrożeniem zasobów jest nadmierna eksploatacja, zwłaszcza na małym obszarze niecki podhalańskiej, a w szczególności jej północno-wschodniej części, gdzie duże wartości wieku wód świadczą o słabej odnawialności zasobów.

Słowa kluczowe: wody termalne, zasilanie, drenaż, niecka podhalańska, niecki przytatrzańskie.

Abstract. The Podhale Basin is one of the most important geothermal regions in Poland, characterised by water temperatures from 20 to 86°C, total dissolved solids (TDS) about 3 g/L, and good water renewal. However, this is a cross-border aquifer system and it is advisable to consider its occurrence in relation to the parameters of the hydraulically connected peri-Tatric troughs in Slovakia. Thermal waters of Podhale are primarily used for recreation and, to lesser extent, for heating purposes, and only on a small scale for drying wood, fish farming and cultivation of vegetables. In Slovakia, thermal waters are used exclusively for recreational purposes. The greatest threat is the over-exploitation of the resources, especially in a small area of the Podhale Basin, and particularly in its northeastern part, where the ages of the thermal waters are very old, indicating a weak renewal of these waters.

Key words: thermal waters, groundwater recharge, drainage, Podhale Basin, peri-Tatric troughs.

WSTĘP

Polska nie należy do państw bogatych w wody termalne, nazwane w artykule „gorącą kopalina”. Obszar niecki podhalańskiej jest jednym z kilku najważniejszych obszarów geotermalnych w Polsce, charakteryzując się temperaturami w zakresie 20–86°C, mineralizacją do ok. 3 g/dm³ i dobrą odnawialnością wody. Jest to jednak transgraniczny system

wodonośny i dlatego celowe jest rozważenie jego występowania w odniesieniu do parametrów połączonych z nim hydraulicznie niecek przytatrzańskich, położonych na obszarze Słowacji. Niecki przytatrzańskie okalają Tatry, oddzielając przy tym Tatry od Tatr Niskich. Po stronie polskiej niecka podhalańska w kierunku wschodnim przedłuża się na teryto-

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków;
e-mail: jozef.chowaniec@pgi.gov.pl

rium Słowacji, aż do strefy uskokowej Rużbachów, obejmując Magurę Spiską. Strefa ta umownie oddziela nieckę podhalańską od niecki popradzkiej (Kotliny Popradzkiej). W kierunku zachodnim, niecka podhalańska ciągnie się na terytorium Słowacji do uskoku Krowiarek, który oddziela ją od niecki skoruszyńskiej. Po stronie południowej Tatr rozciąga się niecka liptowska, łącząca się na wschodzie z niecką popradzką.

W wodach podziemnych temperatura i mineralizacja zależą od głębokości występowania i czasu wymiany oraz litologii skał macierzystych. Najogólniejszy podział wód podziemnych wyróżnia wody zwykłe, mineralne i termalne.

W Polsce wodami termalnymi są wody zwykłe ($<1000 \text{ mg/dm}^3$) lub mineralne (1000 mg/dm^3), których temperatura mierzona na wypływie ze źródeł naturalnych lub odwiertów wynosi co najmniej 20°C . Wielkość ta stanowi granicę umowną od wielu lat stosowaną w balneologii i jest oparta na relacji do temperatury ciała ludzkiego. Transmitowane przez wody termalne ciepło pochodzi z wnętrza ziemi, a jego głównym źródłem jest płynna magma, zaś dodatkowym są procesy naturalnego rozkładu pierwiastków promieniotwórczych. Rozkład temperatur w skorupie ziemskiej, od którego między innymi zależy temperatura wód termalnych, jest bardzo zróżnicowany. Zasadniczym parametrem, który charakteryzuje pole temperaturowe Ziemi jest gradient geotermicz-

ny. Definiuje on przyrost temperatury na jednostkę przyrostu głębokości wewnątrz ziemi, poniżej strefy termicznie neutralnej. Jego odwrotnością jest stopień geotermiczny, określający co ile metrów w głąb ziemi temperatura przyrasta o 1°C . Jego wartości wahają się w szerokich granicach, osiągając w Budapeszcie $15 \text{ m}/1^\circ$, a w Dregfontein w Republice Południowej Afryki $144 \text{ m}/1^\circ$ (Stenz, 1954). Wartości te zależą głównie od głębokości zalegania ciał magmowych, przewodnictwa cieplnego skał, tektoniki, ukształtowania powierzchni, lokalizacji procesów wulkanicznych, promieniotwórczych i geochemicznych, a także od pewnych zjawisk hydrogeologicznych. Średnią wartość stopnia geotermicznego w skali globalnej przyjmuje się na poziomie $33 \text{ m}/1^\circ$. W zależności od budowy geologicznej, stopień geotermiczny na obszarze Polski wykazuje duże zróżnicowanie. W przedziale głębokości $200\text{--}2500 \text{ m}$ zmienia się on według Majorowicza (1971) od 10 do $110 \text{ m}/1^\circ$. Ekstremalne wartości stopnia geotermicznego – około $100 \text{ m}/1^\circ$ – zanotowano w północno-wschodniej części kraju, co jest związane ze stosunkowo płytkim występowaniem krystalicznego podłoża, natomiast najniższe wartości – rzędu $20 \text{ m}/1^\circ$ – są obserwowane w Sudetach (Cieplice Śląskie, Łądek-Zdrój). Zmiany wartości stopnia geotermicznego obserwuje się nie tylko w pionie, ale również w przekroju poziomym.

GORĄCA KOPALINA

Wody głębokich poziomów wodonośnych są zawsze wodami termalnymi. Nie wszędzie jednak warto je eksploatować. Aby wydobywanie było opłacalne, musi być spełnione kilka warunków: wydajność wypływu powinna być wysoka, mineralizacja możliwie niska w celu uniknięcia korozji i zanieczyszczenia, temperatura zadawalająca do planowanego zastosowania, a głębokość zalegania możliwie niezbyt duża do ekonomicznej eksploatacji.

Ponadto bardzo istotnym czynnikiem jest odnawialność zasobów. Zbiorniki wód termalnych nie są nieprzebrany skarbem ciepła, z którego można czerpać bez ograniczeń. Ich eksploatacja podlega takim samym ograniczeniom, jak eksploatacja zwykłych wód podziemnych, czyli z warstwy

wodonośnej można wydobywać tylko tyle, na ile pozwalają zasady racjonalnej gospodarki zasobami.

W Polsce najkorzystniejsze warunki eksploatacji wód termalnych do celów grzewczych istnieją w obrębie niecki podhalańskiej. Decyduje o tym sytuacja geologiczna, wysoka temperatura na wypływie (sięgająca nawet 90°C), niska mineralizacja (do 3 g/dm^3), wysoka wydajność (nawet do $550 \text{ m}^3/\text{h}$ z pojedynczego ujęcia), dobra odnawialność złoża i łatwa dostępność terenu.

W rozumieniu Prawa Geologicznego i Górniczego wody termalne stanowią kopalinę podstawową (Dz.U. z 2011 r. Nr 163, poz. 981).

HISTORIA ODKRYCIA WÓD TERMALNYCH

Informacje o wodach termalnych na Podhalu pochodzą z pierwszej połowy XIX wieku i są związane z odkryciem przez Zejsznera (1844) w Jaszczurówce źródła o temperaturze $20,4^\circ\text{C}$. Pierwszą, nieudaną próbę uzyskania wód termalnych podjęto w Jaszczurówce w 1958 r., gdzie spodziewano się uzyskać wody o temperaturze wyższej niż w źródle (Sobol, 1959).

Po raz pierwszy wody termalne o wyraźnie wyższej temperaturze (37°C) uzyskano z otworu wiertniczego Zakopane

IG 1. Początkowo były one wykorzystywane w basenach kąpielowych na Antałówce, zaś obecnie – w parku wodnym (Antałówka, Zakopane IG 1 (S. Sokołowski, 1973; Chowaniec, 2009)). Intensywny rozwój badań wód termalnych na tym terenie nastąpił w późniejszym okresie (np. Kępińska, 2001; Kępińska, Łowczowska, 2002; Małecka, 2003; Zuber i in., 2008; Chowaniec i in., 2007, 2009; Chowaniec, 2009; Górecki, red., 2011).

Odwiercenie otworu Bańska IG 1 w 1981 r. stanowiło załączek wykorzystania ciepła wód termalnych w systemach grzewczych (J. Sokołowski, 1992). W 2008 r. powstało kąpielisko na Polanie Szymoszkowej w Zakopanem i kompleks rekreacyjno-rehabilitacyjny w Bukowinie Tatrzańskiej, a w 2011 r. park wodny w Białce Tatrzańskiej.

Obecnie istnieje 14 głębokich otworów wiertniczych na terenie niecki podhalańskiej, z czego: 7 jest eksploatowanych (Zakopane IG 1, Zakopane 2, Bańska IG 1, Bańska PGP 1, Bukowina Tatrzańska PIG/PNiG 1, Szymoszkowa GT 1, Białka Tatrzańska GT 1), 2 są chłonne (Biały Dunajec PAN 1, Biały Dunajec PGP 2), 3 nie są eksploatowane (Chochołów PIG 1, Furmanowa PIG 1, Poronin PAN 1), 2 mają wodę na pograniczu wody termalnej (Zazadnia IG 1, Siwa Woda IG 1).

Historię odkrycia wód termalnych w słowackich nieckach przytatrzańskich przedstawiono poniżej jedynie w ogólnym zarysie.

W niecce skoruszyńskiej od dawna były znane trzy źródła o temperaturze 15–18°C i łącznej wydajności 72 m³/godz. Rozpoznanie geologiczne wykazało, że źródła te wypływają w strefie regionalnej dyslokacji. W 1979 r. w ich pobliżu odwiercono otwór Oravice OZ-1, znajdując wodę o temperaturze 28,5°C. W 1997 r. wykonano drugi otwór Oravice OZ-2 o głębokości 1601 m, uzyskując temperaturę wody na wypływie 56,3°C. Rozpoznanie niecki liptowskiej rozpoczęło się w 1979 r. otworem FGL-1 o głębokości 2129 m w miejscowości Povčina Lechota, a następnie odwiercono szereg innych otworów też o głębokościach przekraczających 2000 m. W niecce popradzkiej pierwsze otwory wykonano już w latach siedemdziesiątych XX wieku (otwory: Poprad PP 1, Vrbov VR-1 i Vrbov VR-2). Wody termalne tych niecek są stosowane jedynie do celów balneologicznych (Franko i in., red., 1995).

GEOLOGICZNE UWARUNKOWANIA WYSTĘPOWANIA WÓD TERMALNYCH

W polskich Karpatach Zachodnich na szczególną uwagę pod względem występowania wód termalnych zasługuje niecka podhalańska, stanowiąca część polskich Karpat wewnętrznych. Obecność wód termalnych w tym rejonie jest związana z odsłonięciami skrasowiałych i spękanych mezozoicznych i eocenkich skał węglanowych na obszarze Tatr, gdzie następuje ich zasilanie wodami meteorycznymi. Utwory te zapadają w kierunku północnym pod nieprzepuszczalne i słabo przepuszczalne osady fliszu podhalańskiego, leżącego na głębokości do około 3 km. Na tym obszarze, w odległości około 1 km od północnego brzegu Tatr, aż do pienińskiego pasa skałkowego, wody zgromadzone w tych utworach stają się wodami termalnymi.

Uwzględniając zróżnicowanie budowy i historię geologiczną, Karpaty podzielono na: Karpaty wewnętrzne i Karpaty zewnętrzne, zwane często Karpatami fliszowymi. Na terenie Polski w obrębie Karpat wewnętrznych wyróżniono trzy jednostki geologiczno-strukturalne: Tatry, nieckę podhalańską i pieniński pas skałkowy (fig. 1).

TATRY

Tatry stanowią gniazdo górskie wyniesione ponad otaczające je paleogeńskie niecki (Kotanski, 1979). Ogólnie w obrębie Tatr na terytorium Polski wyróżnia się dwie strefy facjalno-tektoniczne – wierchową i reglową. Strefa wierchowa jest zbudowana z paleozoicznych skał magmowych i metamorficznych tworzących trzon krystaliczny pokryty od strony północnej osłoną skał osadowych oraz nasuniętych na nie fałdów Czerwonych Wierchów i Giewontu (Bac-Moszaszwili, 1997). Strefa reglowa została odkłuta od macierzystego podłoża i nasunięta w postaci płaszczowin na fałdujące się serie wierchowe. Jest ona całkowicie pozbawiona skał krystalicznych i rozciąga się wąskim pasem

wzdłuż północnego brzegu Tatr. Osady tej strefy są reprezentowane przez wapienie, dolomity, margle i łupki margliste oraz piaskowce i zlepieńce triasu, jury i kredy, które zostały sfałdowane w szereg płaszczowin i łusek tektonicznych, pociętych dodatkowo gęstą siecią uskoków, szczelin i spękań. U podnóża masywu odsłaniają się utwory spagowego ogniwa paleogenu, wykształcone w postaci serii węglanowych spoczywających na różnych jednostkach tektonicznych Tatr (Roniewicz, 1969; Małecka, Roniewicz, 1997).

NIECKA PODHALAŃSKA

Niecka podhalańska, określana również jako niecka artyzyska Podhala, stanowi największą jednostkę geologiczno-strukturalną polskich Karpat wewnętrznych. Miąższość osadów fliszowych wypełniających tę mikrogeosynklinę została określona na podstawie wyników licznych wierceń badawczo-eksploatacyjnych, osiągając po stronie polskiej maksymalnie 3000 m (Chowaniec, 2009). Z hydrogeologicznego punktu widzenia ważny jest fakt, że utwory paleogenu są wykształcone w postaci dwóch odmiennych pod względem litologicznym i facjalnym kompleksów skalnych – dolnego, o charakterze węglanowym oraz górnego w postaci przeławicających się łupków i piaskowców fliszu podhalańskiego o wieku od eocenu środkowego do oligocenu (Roniewicz, 1969; S. Sokołowski, 1973). Podobnie wykształcone utwory kontynuują się po stronie słowackiej (fig. 1).

Utwory fliszu w obrębie niecki podhalańskiej zostały podzielone na cztery ogniwa litofacjalne: warstwy szafarskie, występujące tylko w obrębie północnego skrzydła niecki; warstwy zakopiańskie, odsłaniające się zarówno w strefie przytatrzańskiej, jak i przypienińskiej; warstwy chochołowskie, budujące centralną część niecki oraz niewielki frag-

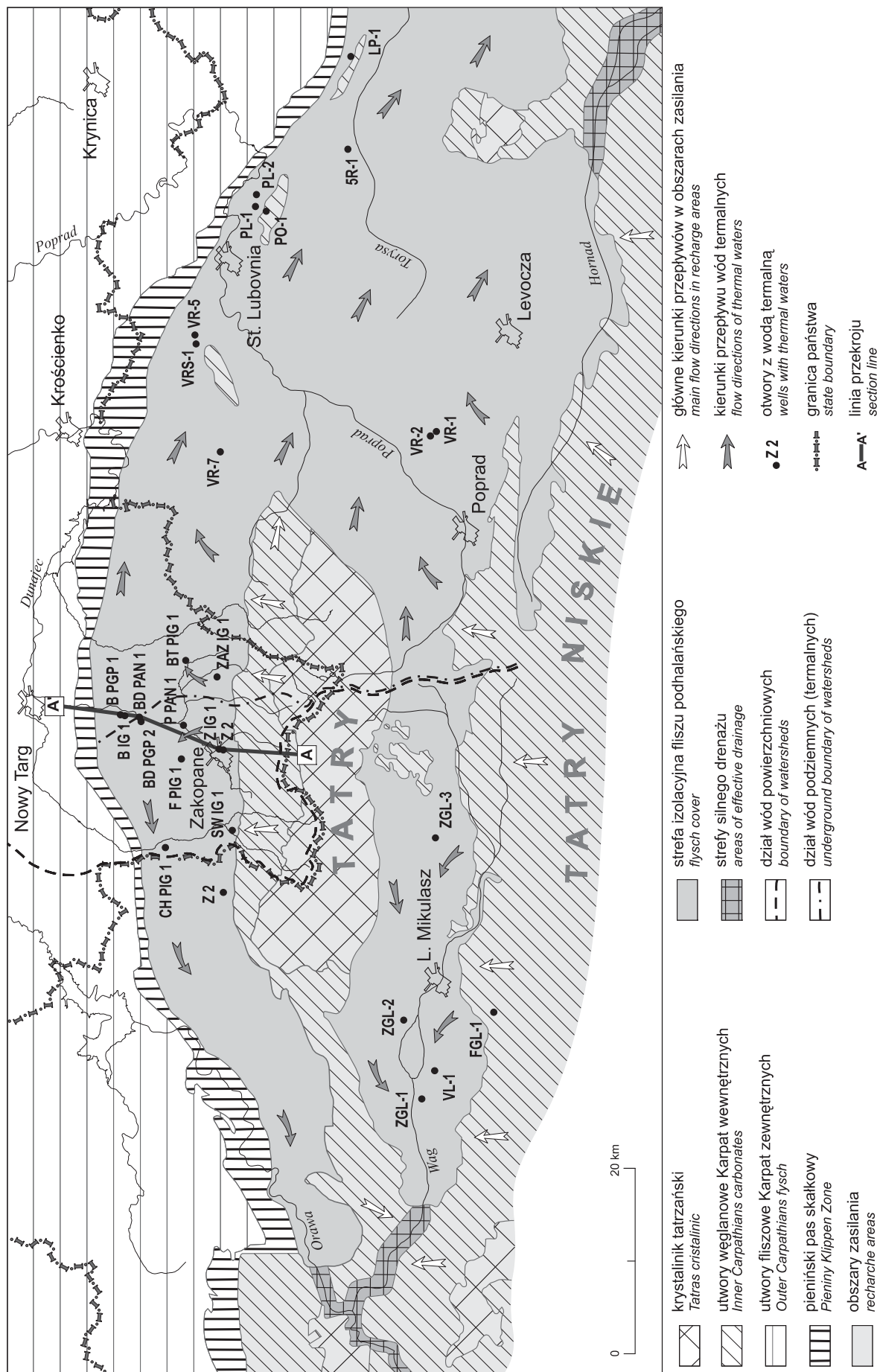


Fig. 1. Mapa zbiornika wód termalnych Karpat wewnętrznych (wg Szklarczyka w: Chowaniec, 2009, z uzupełnieniami)

Głębokie otwory wiertnicze (boreholes): Z IG 1 – Zakopane 2, SZGT 1 – Szymoszkowa GT 1, B IG 1 – Bańska IG 1, B PGP 1 – Bańska PGP 1, BD PAN 1 – Biały Dunajec PAN 1, BD PGP 2 – Biały Dunajec PGP 2, BT PIG/PNIG 1 – Bukowina Tatrzańska PIG/PNIG 1, Zaz IG 1 – Zazadnia IG 1, BGT 1 – Białka Tatrzańska GT 1, CH PIG 1 – Chochołów IG 1, P PAN 1 – Poronin PAN 1, F PIG 1 – Furmanowa IG 1, SW IG 1 – Siwa Woda IG 1

Map of thermal waters in the Inner Carpathians (after Szklarczyk *in*: Chowaniec, 2009)

ment warstw ostryskich w obrębie zlewni Czarnego Dunajca (Gołąb, 1959; Watycha, 1959).

Zaangażowanie tektoniczne fliszu podhalańskiego jest niewielkie (Mastella, 1975; Mastella, i in., 1988). Upady warstw są zawarte w granicach od kilku do kilkunastu stopni. Bardziej strome ich ułożenie obserwuje się na skrzydłach niecki – w strefie kontaktu z masywem tatrzańskim oraz wzdłuż pienińskiego pasa skałkowego, gdzie upady dochodzą do 90°, a nawet spotyka się warstwy wstecznie pochylone ku północy (Małecka, 1981).

PIEŃSKI PAS SKAŁKOWY

Pod względem budowy geologicznej pieniński pas skałkowy jest najbardziej skomplikowaną strukturą geologiczną. Od południa, wzdłuż wielkiej linii dyslokacyjnej, graniczy on z fliszem podhalańskim, od północy zaś z utworami fliszu Karpat zewnętrznych, które na terenie Kotliny Orawsko-Nowotarskiej są ukryte pod miąższem nadkładem neogenu i czwartorzędu.

Inwentarz skalny reprezentują osady należące do sześciu serii skałkowych (czorsztyńskiej, niedzickiej, czertezickiej, braniskiej, pienińskiej oraz haligowieckiej, znajdującej się poza granicami państwa). Obejmują one ogniwa od środkowej części jury dolnej po kampan górny oraz osłonę skałkową, do której należą skały fliszowe najwyższej kredy i paleogenu (Birkenmajer, 1979). Utwory te podlegały kilku etapom fałdowania, podczas których powstały formy typu diapirów, łusek i fałdów pociętych dodatkowo gęstą siecią

uskoków. Obok form wielkopromiennych w układzie pionowym, rozciągających się równoleżnikowo, obserwuje się całe zespoły mikrosynklin i antyklin o stromo pochylonych skrzydłach. Niezależnie od wymienionych form, na terenie pasa skałkowego występuje również szereg dyslokacji nieciągłych o przebiegu południkowym, powodujących często poziome blokowe przesunięcie warstw, czego przykładem jest przełomowy odcinek Białki.

UTWORY CZWARTORZĘDOWE

Rzeczne i rzeczno-lodowcowe utwory czwartorzędowe występują na całym omawianym obszarze, a ich właściwości zależą w znacznym stopniu od litologii skał macierzystych. Występują one w dolinach rzecznych i kotlinach śródgórskich, osiągając miąższości od bliskich zera do ponad 100 m. W zależności od podłoża są to piaski i żwiry pochodzące ze skał krystalicznych, węglanowych i fliszowych.

Poza dolinami i kotlinami skały podłoża czwartorzędowego są pokryte utworami zwietrzelinowymi, o miąższościach na ogół nieprzekraczających 2–3 m. W wyniku licznych osuwisk, powszechnie występują koluwia, które mogą magazynować wodę lepiej, niż nieprzemieszczone utwory zwietrzelinowe. Powstałe źródła i bardzo małe ujęcia z osuwisk są wykorzystywane jedynie lokalnie przez nielicznych odbiorców o niewielkim zapotrzebowaniu.

W Kotlinie Orawsko-Nowotarskiej występują dość liczne połacie torfów, pozbawionych znaczenia użytkowego dla eksploatacji wód, ale mających pewne znaczenie dla retencji.

CHARAKTERYSTYKA WÓD TERMALNYCH

Na obszarze zarówno niecki podhalańskiej, jak i pozostałych niecek przytatrzańskich występują dwa systemy przepływu wód podziemnych. Jeden z nich – lokalny, jest związany z utworami czwartorzędowymi i stropowymi ogniwami fliszu, natomiast drugi – regionalny, ukształtował się w skrasowiałych utworach węglanowych eocenu i mezozoiku. W tym drugim systemie występują wody termalne z obszarem zasilania w Tatrach, a skały fliszowe stanowią element izolujący od pierwszego poziomu. W niecce podhalańskiej wody te, uzyskiwane wierceniami usytuowanymi w odległości około 800–1000 m od brzegu Tatr, migrują ku północy zgodnie z kierunkiem zapadania serii wodonośnych. Następnie, na skutek szczelnej bariery, którą stanowią utwory pienińskiego pasa skałkowego, rozprzeczają się wachlarzowato ku południowemu wschodowi i południowemu zachodowi poza granice państwa (fig. 2), przypuszczalnie z bardzo słabym drenażem przez przesączanie do góry na obszarze niecki, sugerowanym przez nieco podwyższoną temperaturę niektórych źródeł (Chowaniec, 2009). Efektem tego drenażu są przypuszczalnie niektóre źródła siarczkowe związane

z obecnością stref dyslokacyjnych. Do celów poznawczych wskazane są jednak badania znacznikowe źródeł o podwyższonej temperaturze wody, aby stwierdzić, czy zachodzi przesączanie do góry wód termalnych. Anomalie termiczne skał, obserwowane w strefach uskokowych płytkimi pomiarami temperatury, wydają się wskazywać na możliwość ascencyjnego ruchu wody termalnej spowodowanego przez przeszkodę dla przepływu, którą stanowi pieniński pas skałkowy. Zapewne na tym obszarze następuje silne zredukowanie prędkości przepływów w stosunku do części południowej, co wskutek wydłużenia czasu kontaktu wody ze skałą powoduje wyraźniejsze zmiany składu chemicznego wód.

Odmierna sytuacja ma miejsce po stronie słowackiej, co pokazano na [figurze 1](#). Zasilanie odbywa się w Tatrach Niskich, ponieważ po stronie południowej Tatr istnieje regionalna dyslokacja blokująca dopływ wód atmosferycznych do spękanych i skrasowiałych utworów podfliszowych. Przepływ wód termalnych następuje natomiast do stref drenażu – na zachodzie do doliny Wagu, a na wschodzie do doliny Hornadu.

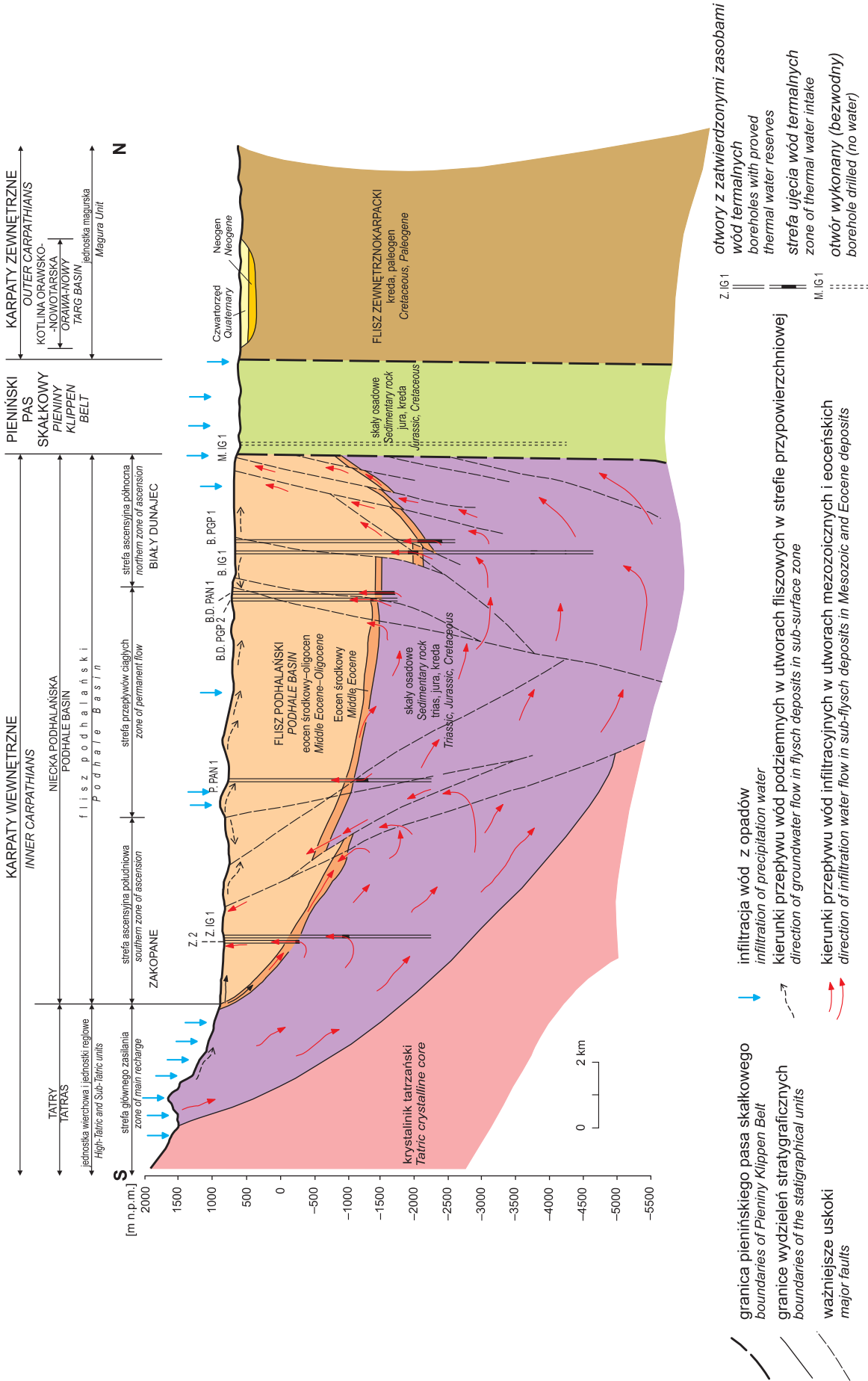


Fig. 2. Przekrój geologiczny niecki podhalańskiej ze schematem przepływów wód podziemnych (wg Chowania, 2009)

Geological cross-section of the Podhale Basin (after Chowaniec, 2009)

Tabela 1

Wybrane parametry hydrogeologiczne niecek (Daniel, 2005; Fendek i in., 2005; Giorgadze, Bujalka, 2005; Remšik i in., 2005; Chowaniec, 2009)

Selected hydrogeological parameters of the basins (Daniel, 2005; Fendek i in., 2005; Giorgadze, Bujalka, 2005; Remšik i in., 2005; Chowaniec, 2009)

Niecka	Współczynnik filtracji K [m/s]	Wydajność Q [m ³ /godz]	Temperatura T [°C]	Mineralizacja M [g/dm ³]
Podhalańska	$2,1 \cdot 10^{-7} \div 3,2 \cdot 10^{-4}$	4 ÷ 550	20 ÷ 86	0,2 ÷ 3,2
Skoruszyńska	$3,6 \cdot 10^{-5}$	126 ÷ 436	28 ÷ 56	1,2 ÷ 1,5
Liptowska	$8,6 \cdot 10^{-7} \div 1,6 \cdot 10^{-5}$	7,6 ÷ 147	20 ÷ 62	0,3 ÷ 4,7
Popradzka (Popradzka Kotlina, Levočska Panva)	$n \cdot 10^{-6} \div n \cdot 10^{-5}$	26 ÷ 174	24 ÷ 59	0,6 ÷ 3,9

Tabela 2

Typy chemiczne wód niecek przytatrzańskich (Daniel, 2005; Fendek i in., 2005; Giorgadze, Bujalka, 2005; Remšik i in., 2005; Chowaniec, 2009)

Chemical water types of the peri-Tatric troughs (Daniel, 2005; Fendek i in., 2005; Giorgadze, Bujalka, 2005; Remšik i in., 2005; Chowaniec, 2009)

Niecka	Typ chemiczny wody
Podhalańska	SO ₄ -Cl-Na-Ca, SO ₄ -Ca-Na, HCO ₃ -SO ₄ -Mg-Na, HCO ₃ -SO ₄ -Ca-Mg-Na, HCO ₃ -Na-Ca, HCO ₃ -Ca-Mg, SO ₄ -HCO ₃ -Cl-Na-Ca
Skoruszyńska	SO ₄ -Ca(Mg), SO ₄ -HCO ₃ -Ca-Mg-Na
Liptowska	HCO ₃ -Ca-Mg, HCO ₃ -SO ₄ -Ca-Mg, HCO ₃ -SO ₄ -Ca-Na-Mg, SO ₄ -HCO ₃ -Ca-Mg
Popradzka (Levočska Panva)	HCO ₃ -Ca-Mg, SO ₄ -HCO ₃ -Ca-Mg

Badania wykonane w trakcie testów hydrodynamicznych ujęć w niecce podhalańskiej, w tym określenie wieku wód, temperatury i składu jonowego, pozwoliły na stwierdzenie szeregu prawidłowości charakterystycznych dla wód podziemnych w podfliszowych poziomach niecki artezyjskiej Podhala. Mimo różnic głębokości ujęć i zróżnicowanej odległości od obszaru zasilania, współczynniki filtracji utworów podfliszowych wykazują zbliżone wartości, rzędu 10^{-6} m/s, podobne do wartości obserwowanych w otworach zlokalizowanych na Antałowce (Chowaniec, 2009). Z po-

równania wydajności notowanych w czasie wiercenia otworów z rezultatami uzyskanymi podczas zabiegów kwasowania wynika, że nastąpiło 4–8-krotne zwiększenie wydatku, a w otworze Biały Dunajec PAN 1 różnica ta jest nawet znacznie wyższa, gdyż wydajność wzrosła z 9 do 270 m³/h. Korzyści z zabiegów kwasowania otworów ujawniają się równocześnie w przyrostach temperatury wody na wypływie od kilkunastu do ponad 30°C.

W tabeli 1 podano wybrane parametry hydrogeologiczne niecek przytatrzańskich, a tabeli 2 typy chemiczne wód.

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA WÓD TERMALNYCH

Wody termalne najwcześniej zostały wykorzystane do celów grzewczych w rejonie Bańskiej i Białego Dunajca (dublet otworów Bańska IG 1 i Bańska PGP 1 oraz Biały Dunajec PAN 1 i Biały Dunajec PGP 2). Po początkowej fascynacji tym odnawialnym źródłem energii i oczekiwanych korzyściach ekonomicznych okazało się, że koszty eksplo-

atacji w chwili obecnej mogą przekraczać koszty tradycyjnego ogrzewania, a korzyści ekologiczne w postaci czystszej powietrza nad Zakopanem są mało przekonujące dla indywidualnych odbiorców energii. Z tego względu bardziej obiecujące są zastosowania rekreacyjno-lecznicze (Chowaniec, 2009).

Tabela 3

Parametry ujęć wód termalnych na terenie niecki podhalańskiej (Chowaniec, 2011)

The parameters of the thermal water supply wells in the Podhale Basin (Chowaniec, 2011)

Lokalizacja/nazwa otworu	Parametry eksploatacyjne			
	zasoby [m ³ /h]	depresja [m]	temperatura [°C]	mineralizacja [g/dm ³]
Otwory wykorzystywane				
Zakopane/Zakopane IG 1	50	50	37	0,36
Zakopane/Zakopane 2	80	20	26	0,33
Zakopane/Szymoszkowa GT 1	80	11,5	27	0,38
Bańska Niżna/Bańska IG 1	120	185	82	2,7
Bańska Niżna/Bańska PGP 1	550	158	86	3,12
Biały Dunajec/Biały Dunajec PAN 1	200	otwór chłonny	82	2,6
Biały Dunajec/Biały Dunajec PGP 2	400	otwór chłonny	86	2,7
Bukowina Tatrzańska/ Bukowina Tatrzańska PIG/PNiG 1	40	80	64,5	1,49
Murzasiczle/Zazadnia IG 1	25	45	22	0,19
Białka/Białka Tatrzańska GT 1	38	355	73	1,79
Planowane kompleksy termalne				
Witów/Chochołów IG 1	120	150	82	1,24
Poronin/Poronin PAN 1	70	134	63	1,14
Otwory niewykorzystywane				
Zakopane/Furmanowa IG 1	90	27,5	60,5	0,58
Witów/Siwa Woda-IG 1	4,0	55,0	20	0,42

Wody termalne są obecnie eksploatowane przez otwory Zakopane IG 1 i Zakopane 2 do celów rekreacyjnych w basenie kąpielowym zakopiańskiego Aqua Parku (tab. 3). Wybudowano duże ośrodki rekreacyjno-rehabilitacyjne w Bukowinie Tatrzańskiej i w Białce Tatrzańskiej, zaprojektowane jako największe w Polsce i jedno z najnowocześniejszych w skali europejskiej. Ośrodki te wykorzystują do celów grzewczych i kąpielowych wody z otworów Bukowina Tatrzańska PIG/PNiG 1 i Białka Tatrzańska GT 1.

W Białym Dunajcu istnieje także ośrodek kąpielowy, który bazuje na energii cieplnej dostarczanej przez wodę z otworów w Białym Dunajcu. Wykorzystywana jest również woda termalna z otworu Szymoszkowa GT 1 w basenie otwartym w sezonie letnim. Planowane są także baseny kąpielowe w Witowie i Poroninie.

Dotychczasowe doświadczenie sugeruje, że wody termalne niecki podhalańskiej powinny być przede wszystkim eksploatowane do celów ośrodków rekreacyjno-rehabilitacyjnych, gdyż ich wykorzystanie dla celów grzewczych przez indywidualnych odbiorców nie jest zbyt obiecujące, ze względu na wysokie koszty sieci przesyłowej.

Suma zasobów eksploatacyjnych wynosi 1267 m³/h. Zasoby dyspozycyjne wód termalnych niecki podhalań-

skiej zostały określone w roku 1997 w dokumentacji wykonanej przed odwierceniem szeregu nowych otworów na 983,3 m³/h dla obszaru zasobowego o powierzchni 350 km² oraz obszaru alimentacji (Tatry) o powierzchni 200 km² (Chowaniec i in., 1997). Jak widać, obecnie obowiązujące zasoby eksploatacyjne przekraczają ustaloną wówczas wielkość zasobów dyspozycyjnych.

Obecnie podjęto prace przy zastosowaniu nowych metod badawczych, w tym analiz stężeń gazów szlachetnych (Chowaniec i in., 2009) oraz modelowania numerycznego filtracji i migracji ciepła. Celem tych prac jest aktualizacja oceny zasobów wód termalnych, zarówno w odniesieniu do całej niecki podhalańskiej (zasoby dyspozycyjne), jak i do poszczególnych otworów wiertniczych (zasoby eksploatacyjne). Dotychczasowe badania modelowe miały charakter fragmentaryczny, głównie ze względu na brak szczegółowych danych niezbędnych do wiarygodnej kalibracji modeli numerycznych. Zaktualizowana ocena zasobów dyspozycyjnych wód termalnych umożliwi prowadzenie optymalnej gospodarki zasobami w celu uniknięcia nadmiernej eksploatacji, mogącej prowadzić do niekorzystnych zmian wydatków, temperatury i/lub składu chemicznego oraz do oceny dalszych możliwości wykorzystania tych wód.

PODSUMOWANIE

Zarówno w Polsce, jak i na Słowacji wody termalne o najkorzystniejszych parametrach występują w nieckach otaczających Tatry. Jest to spowodowane korzystnymi warunkami geologiczno-strukturalnymi, tzn. że istnieją tu odpowiednie warstwy wodonośne (dolomity, wapienie, piaskowce), mające wychodnie w Tatrach oraz Tatrach Niskich; dobra izolacja od powierzchni (łupki i piaskowce fliszu podhalańskiego); zadawalająca głębokość niecek i dobra odnawialność zasobów.

Nigdzie indziej w zachodnich Karpatach fliszowych nie ma tak dobrego wodonośnego podłoża z wychodniami zapewniającymi współczesne zasilanie.

Najlepsze warunki termalne istnieją w niecce podhalańskiej, zwłaszcza w jej północno-wschodniej części, gdyż tam warstwy wodonośne osiągają największe głębokości (ok. 5000 m). Jednak najnowsze badania znaczników środowiskowych wykazały, że w tej części niecki podhalańskiej znajdują się wody o wieku przekraczającym 10 tys. lat, a więc znacznie starsze niż wody w pozostałych nieckach

i w północno-zachodniej części niecki podhalańskiej. Typy chemiczne wód niecki podhalańskiej różnią się od typów niecek przyległych, co może świadczyć o słabym przepływie transgranicznym.

Wody termalne Podhala są wykorzystywane głównie do rekreacji, a w mniejszym stopniu do celów grzewczych, natomiast tylko w niewielkim stopniu do suszenia drewna, hodowli ryb i uprawy warzyw. Na obszarze Słowacji wody termalne są wykorzystywane jedynie do rekreacji.

Największym zagrożeniem zasobów jest nadmierna eksploatacja, zwłaszcza na małym obszarze niecki podhalańskiej, a w szczególności jej północno-wschodniej części, gdzie duże wartości wieku wód świadczą o ich słabej odnawialności (Chowaniec i in., 2009). Zagrożeniem jakości wód są zmiany składu chemicznego obserwowane w niektórych otworach wiertniczych. Stwierdzona ostatnio słaba odnawialność wód w północno-wschodniej części niecki podhalańskiej powinna być przedmiotem szczególnej troski w zarządzaniu tymi wodami i planach zagospodarowania tego rejonu.

LITERATURA

- BAC-MOSZASZWILI M., 1997 — Wyniesienie Tatr i ruchy neotektoniczne. Przew. LXVIII zjazdu PTG, Zakopane 2–4 października 1997, Warszawa.
- BIRKENMAJER K., 1979 — Przewodnik geologiczny po pienińskim pasie skałkowym. Wyd. Geol., Warszawa.
- CHOWANIEC J., 2009 — Studium hydrogeologii zachodniej części Karpat polskich. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **434**.
- CHOWANIEC J., 2011 — Wody termalne w niecce podhalańskiej. *W: Wyznaczanie granic obszaru i terenu górniczego dla złóż wód podziemnych uznanych za kopaliny* (red. W. Ciężkowski, J. Kapuściński). Poradnik metodyczny. Borgis Wyd. Medyczne, Warszawa.
- CHOWANIEC J., DŁUGOSZ P., DROZDOWSKI B., NAGY S., POPRAWA D., WITCZAK S., WITEK K., 1997 — Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód termalnych niecki podhalańskiej. *Centr. Arch. Geol. PIB-PIB, Oddz. Karpacki, Kraków*
- CHOWANIEC J., ZUBER A., CIĘŻKOWSKI W., 2007 — Prowincja karpacka. *W: Hydrogeologia regionalna Polski. T. II. Wody mineralne, lecznicze i termalne oraz kopalniane* (red. B. Paczyński, A. Sadurski): 78–96. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- CHOWANIEC J., DULIŃSKI M., MOCHALSKI P., NAJMAN J., ŚLIWKA I., ZUBER A., 2009 — Znaczniki środowiskowe w wodach termalnych niecki podhalańskiej. *Prz. Geol.*, **57**, 8: 685–693.
- DANIEL J., 2005 — Hydrogeotermalne pomery Popradzkiej kotliny. *Mineralia Slovaca*, **37**, 2: 137–140.
- Dz.U. 2011 Nr 163 poz. 981. Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze.
- FENDEK M., BRICHTA R., FENDEKOVA M., 2005 — Využitelné množstvo geotermálnej vody z vrtu OZ-2 Oravice. *Mineralia Slovaca*, **37**, 2: 141–143.
- FRANKO O., REMŠIK A., FENDEK M. (red.), 1995 — Atlas of Geothermal Energy of Slovakia. G.Ú.Š., Bratislava.
- GIORGADZEN., BUJALKA F., 2005 — Využívanie geotermálnej vody v Thermal parku Bešeňová. *Mineralia Slovaca*, **37**, 2: 147–148.
- GOŁĄB J., 1959 — Zarys stosunków geologicznych zachodniego Podhala. *Biul. Inst. Geol.*, **149**: 225–237.
- GÓRECKI W. (red.), 2011 — Atlas zasobów wód i energii geotermalnej Karpat Zachodnich. Wyd. AGH, Kraków.
- KĘPIŃSKA B., 2001 — Warunki hydrotermalne i termiczne podhalańskiego systemu geotermalnego w rejonie otworu Biały Dunajec PAN-1. *Stud., Rozpr., Monogr.*, **93**: 1–141.
- KĘPIŃSKA B., ŁOWCZOWSKA A., 2002 — Wody geotermalne w lecznictwie, rekreacji i turystyce. *Stud., Rozpr., Monogr.*, **113**.
- KOTAŃSKI Z., 1979 — Pozycja Tatr w obrębie Karpat Zachodnich. *Prz. Geol.*, **27**, 7: 359–369.
- MAJOROWICZ J., 1971 — Przebieg wartości stopnia geotermicznego w Polsce w przedziale głębokości 200–2500 m. *Kwart. Geol.*, **15**, 4: 891–900.
- MAŁECKA D., 1981 — Hydrogeologia Podhala, I.G. *Pr. Hydrogeol., Ser. Specjalna*, **14**. Wyd. Geol., Warszawa.
- MAŁECKA D., 2003 — The thermal waters of Podhale, southern Poland: history of research, genesis and utility. *Geol. Quart.*, **47**, 2: 195–209.
- MAŁECKA D., RONIEWICZ P., 1997 — Wycieczka A-1. Sedymentacja eocenu węglanowego oraz hydrogeologia podnóża tatr, problemy zaopatrzenia Zakopanego w wodę. *W: Przewodnik LXVIII Zjazdu PTG: 73–92*. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MASTELLA L., 1975 — Tektonika fliszu we wschodniej części Podhala. *Roczn. PTG*, **45**: 361–401.
- MASTELLA L., OZIMKOWSKI W., SZCZĘSNY R., 1988 — Tektonika północno-zachodniej części fliszu podhalańskiego. *Prz. Geol.*, **36**, 10: 566–571.

- REMŠÍK A., FENDEK M., MAĐAR D., 2005 — Výskyt a rozšírenie geotermálnych vôd v Liptovskej kotline. *Mineralia Slovaca*, **37**, 2: 123–130.
- RONIEWICZ P., 1969 — Sedymentacja eocenu numulitowego Tatr. *Acta Geol. Pol.*, **19**, 3: 503–608.
- SOBOL H., 1959 — Badania stosunków wodnych i zjawisk krasowych na terenie cieplicy w Jaszczurówce. *Speleologia*, **1**, 1/2: 13–26.
- SOKOŁOWSKI J., 1992 — Dokumentacja geosynoptyczna otworu geotermalnego Bańska IG-1. Geosynoptyka i Geotermia. T. 1. PAN CPPGSMiE, Kraków.
- SOKOŁOWSKI S., 1973 — Geologia paleogenu i mezozoicznego podłoża południowego skrzydła niecki podhalańskiej w profilu głębokiego wiercenia w Zakopanem. *Biul. Inst. Geol.*, **265**: 5–74.
- STENZ E., 1954 — Wstęp do geofizyki. PWN, Warszawa.
- WATYCHAŁ., 1959 — Uwagi o geologii fliszu podhalańskiego we wschodniej części Podhala. *Prz. Geol.*, **7**, 8: 350–356.
- ZEJSZNER L., 1844 — O temperaturze źródeł tatrowych i pasm przyległych. Biblioteka Warszawska. T. 2: 257–281.
- ZUBER A., MAŁECKI J.J., DULIŃSKI M., 2008 — Groundwater ages and altitudes of recharge areas in the Polish Tatra Mts. as determined from ^3H , ^{18}O and ^2H data. *Geol. Quart.*, **52**, 1: 71–80.

SUMMARY

In both Poland and Slovakia the most favorable thermal parameters appear in the basins surrounding the Tatra Mountains. This is due to favorable geological and structural conditions, i.e. proper water-bearing beds (dolomites, limestones, sandstones) outcropping in the Tatras and Low Tatras. There is also a good insulation from the surface (shales and Podhale sandstone flysch), and satisfactory depth of basins and a good water renewal. Nowhere else in the Western Flysch Carpathians are such good water-bearing beds with outcrops providing modern recharge. The best thermal conditions exist in the Podhale Basin, particularly in their northeastern part, since the aquifer there reaches the greatest depth (approximately 5000 m). However, recent studies of environmental markers showed that in this part of the Podhale Basin age of waters exceeds 10 000 years, and they are much older than waters in other basins in the northwestern part of the Podhale Basin. Chemical types

of waters of the Podhale Basin differ from the types of adjacent basins, which may suggest a weak cross-border flow.

Thermal waters of Podhale are primarily used for recreation, and to a smaller range for heating purposes, while only slightly for drying wood, fish farming and cultivation of vegetables. In Slovakia thermal waters are used exclusively for recreational purposes.

The biggest threat is over-exploitation of the resources, especially in a small area of the Podhale Basin, and particularly in its northeastern part, where the ages of the thermal waters are very old, what indicates a weak renewal of these waters. A certain threat to water quality are chemical composition changes observed in some hydrogeological boreholes. It has been recently found that water renewal is low in the northeastern part of the Podhale Basin and should be of particular concern in the water management and the development plans of this region.