

Ocena uwarunkowań hydrogeotermalnych dla uzdatniania części schłodzonych wód termalnych. Model koncepcyjny systemu geotermalnego Podhala

Barbara Tomaszewska¹, Bogusław Bielec¹, Maciej Miecznik¹

The assessment of hydrogeothermal conditions for treatment of part of cooled geothermal waters. The conceptual model of the Podhale geothermal system. *Prz. Geol.*, 63: 1115–1121.

Abstract. Determination of alternative water management in actively exploited geothermal system, which constitutes a significant source of renewable energy requires recognition and determination of reservoir and hydrogeothermal conditions for long-term, safe exploitation of geothermal energy. This paper provides assumptions for the conceptual model, the necessary step to execute numerical modeling of the Podhale geothermal reservoir. For the analyzed area geological conditions were determined, yielding 19 geological structures diverse in terms of thermal parameters, permeability, porosity and rock density. Main trends of tectonic dislocation and groundwater flow directions were indicated along with and characterization of thermal conditions. Exploitation conditions of geothermal boreholes are briefly discussed. Conceptual model for the Podhale geothermal system will subsequently allow for realization of the numerical models and determination of the maximum flow rate of thermal water, which under analyzed reservoir conditions will not disturb performance of the geothermal system, and in particular will not deplete energy resources.

Keywords: geothermal water, geothermal system modeling, conceptual model, Podhale geothermal system

W wielu systemach geotermalnych kluczowym czynnikiem determinującym warunki eksploatacji złoża wód termalnych, a w szczególności ilość możliwej do pozyskania energii, jest sposób zagospodarowania lub utylizacji wód termalnych. Z doświadczeń światowych i krajowych wynika, że wody termalne są eksploatowane w następujących układach: zamkniętym (po energetycznym wykorzystaniu wody są wtłaczane z powrotem do górotworu), otwartym (po energetycznym wykorzystaniu wody są zrzucane do cieków powierzchniowych lub kanalizacji) i mieszanym (po energetycznym wykorzystaniu tylko część wód wraca do złoża, a pozostała jest zrzucana). Eksploatacja wód w dwóch ostatnich przypadkach jest niejednokrotnie powodem krytycznych ocen związanych z inżynierią złożową. Dotyczą one żywotności systemu, zapewnienia odpowiednich parametrów do długotrwałej eksploatacji, ale również środowiskowych, wynikających z potencjalnego negatywnego wpływu wykorzystanych wód na jakość odbiorników powierzchniowych. Modelowa procedura utylizacji schłodzonych wód termalnych, po procesie odzysku ciepła, powinna być ukierunkowana na optymalizację działań w zakresie gospodarki złożem kopaliny w długim horyzoncie czasowym. Powinna również uwzględniać dbałość o odnawialność zasobów wód oraz środowisko naturalne. Jednocześnie, wody zrzucane do rzek lub wykorzystywane do innych celów muszą spełniać odpowiednie wymagania określone w uregulowaniach prawnych. Z tego względu działania związane z uzdatnianiem wód termalnych są podejmowane w wielu częściach świata w celu poprawy jakości środowiska naturalnego oraz lepszego, bardziej efektywnego ich zagospodarowania (Şimşek i in., 2005; Öner i in. 2011; Tomaszewska & Bodzek, 2013a, b, c; Pająk & Bujakowski, 2013b; Tomaszewska & Szczepański, 2014).

Określenie możliwości alternatywnego zagospodarowania wód w czynnie eksploatowanym systemie geotermalnym, stanowiącym znaczące źródło energii odnawial-

nej, wymaga rozpoznania i określenia uwarunkowań hydrogeotermalnych i złożowych dla bezpiecznej eksploatacji energii geotermalnej, prowadzonej przez długi czas. Takie analizy podjęto w kontekście oceny możliwości zagospodarowania części schłodzonych wód termalnych do celów pitnych, w przypadku najważniejszego w Polsce systemu geotermalnego Podhala.

Od wielu lat część wykorzystanych, schłodzonych wód termalnych Podhala jest odprowadzana do wód powierzchniowych. Z przeprowadzonych w Instytucie Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie (IGSMiE PAN) badań wynika, że można bardziej efektywnie zagospodarować te wody (Tomaszewska & Bodzek, 2013a, b, c; Tomaszewska & Pająk, 2012, 2013a, b; Tomaszewska i in., 2014). Niezbędnym jednak warunkiem wyprzedzającym takie działania jest określenie maksymalnego strumienia wody termalnej, który w konkretnych warunkach geologiczno-złożowych nie zakłóci pracy systemu geotermalnego, a w szczególności nie wpłynie na zużycie zasobów energii. W niniejszej pracy przedstawiono założenia dla modelu koncepcyjnego niezbędnego do realizacji modelowania numerycznego pracy północnej części systemu geotermalnego Podhala w długim (50-letnim) horyzoncie czasowym.

MATERIAŁY I METODY

Dla opracowania założeń do modelu koncepcyjnego systemu geotermalnego w rejonie obszaru górniczego (OG) Podhale 1, dokonano szczegółowej analizy niepublikowanych dokumentacji geologicznych, geofizycznych i hydrogeologicznych, udostępnionych przez koncesjonariusza – PEC Geotermię Podhalańską S.A., oraz licznych opublikowanych prac badawczych, poświęconych specyfic warunków geologicznych i hydrogeotermalnych rejonu badań.

¹ Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Polska Akademia Nauk, ul. Wybickiego 7, 31-261 Kraków; tomaszewska@meeri.pl, bielec@meeri.pl, miecznik@meeri.pl.

WYNIKI BADAŃ

Wgłębna budowa geologiczna, warunki hydrogeologiczne i geotermalne niecki podhalańskiej rozpoznano za pomocą ponad 20 otworów geotermalnych. Wody termalne stwierdzono w piętnastu z nich. W rozpatrywanym obszarze północnej, osiowej części niecki podhalańskiej wykonano dotychczas pięć otworów geotermalnych – Bańska IG-1 (głęb. 5261 m), Bańska PGP-1 (głęb. 3242 m), Biały Dunajec PAN-1 (pierwotna głęb. 2394 m, po kierunkowym pogłębieniu w 2014 r. 2592,8 m TVD², tj. 2606,1 m MD³), Biały Dunajec PGP-2 (głęb. 2450 m) i wykonany w 2013 r. nowy, kierunkowy otwór Bańska PGP-3 (głęb. 3400 m TVD, tj. 3519,3 m MD). Lokalizację powyższych otworów przedstawiono na rycinie 1.

Dane z odwiertów oraz badań hydrogeologicznych, geofizycznych i laboratoryjnych, wykonanych w trakcie ich realizacji, pozwoliły na stosunkowo wiarygodne oszacowanie parametrów złożowych. W latach 2001–2002 wykonano zdjęcie sejsmiczne 3D (Ochał & Gąsiorek, 2002), które poszerzyło wiedzę na temat budowy geologicznej i tektoniki tego fragmentu niecki. Jego zasięg przestrzenny pokazano również na rycinie 1.

Analiza dostępnych materiałów pozwoliła na wydzielenie 19 struktur geologicznych, reprezentujących zróżnicowanie litologiczne rozpatrywanej części niecki podhalańskiej. Struktury te nie tworzą w większości formalnych jednostek geologicznych, natomiast dobrano je w taki sposób, żeby umożliwić bardziej elastyczną, dokładniejszą kalibrację modelu numerycznego. Wartości parametrów przypisano w zakresie zgodnym z informacjami dostępnymi w literaturze i dokumentacjach otworów. Dane te zostaną zweryfikowane podczas kalibracji modelu produkcyjnego, tak żeby odzwierciedlały rzeczywiste dane, pochodzące z obserwacji prowadzonych podczas wieloletniego monitoringu otworów. Parametry definiujące wymianę oraz akumulację ciepła w skałach (współczynnik przewodnictwa cieplnego, ciepło właściwe) zostały przyjęte za Kępińską (1995). Zestawienie parametrów dla wydzielonych struktur geologicznych znajduje się w tabeli 1.

System geotermalny Podhala ma złożoną tektonikę, wyrażoną jako układ uskoku powstałych wskutek przemieszczania i nasuwania płaszczowin, ruchów pionowych, a następnie postkinematycznego odprężania górotworu. W efekcie utwory, z których jest zbudowany, mają strukturę blokową. Amplitudy uskoku dochodzą do kilkudziesięciu, a w niektórych rejonach do kilkuset metrów, na co wskazują badania powierzchniowe (Mastella, 1975) i co potwierdzono danymi z wierceń oraz częściowo badaniami sejsmicznymi 3D (Ochał & Gąsiorek, 2002). Uskoki i spękania wpływają w dużej mierze na krążenie wód, a ich orientacja przestrzenna lokalnie modyfikuje kierunki przepływu wód.

Głównym kolektorem wód termalnych jest triasowa jednostka Białego Dunajca, zbudowana ze skał węglanowych (dolomity, wapienie) wraz z wyżej leżącą warstwą eoceńskich wapieni i zlepieńców. Powyżej stropu eocenu numulitowego znajdują się warstwy nieprzepuszczalnego lub słabo przepuszczalnego fliszu podhalańskiego, o miąższości dochodzącej do ponad 2700 m w strefie otworów produkcyjnych (Barbacki i in., 1998) oraz o miąższości do

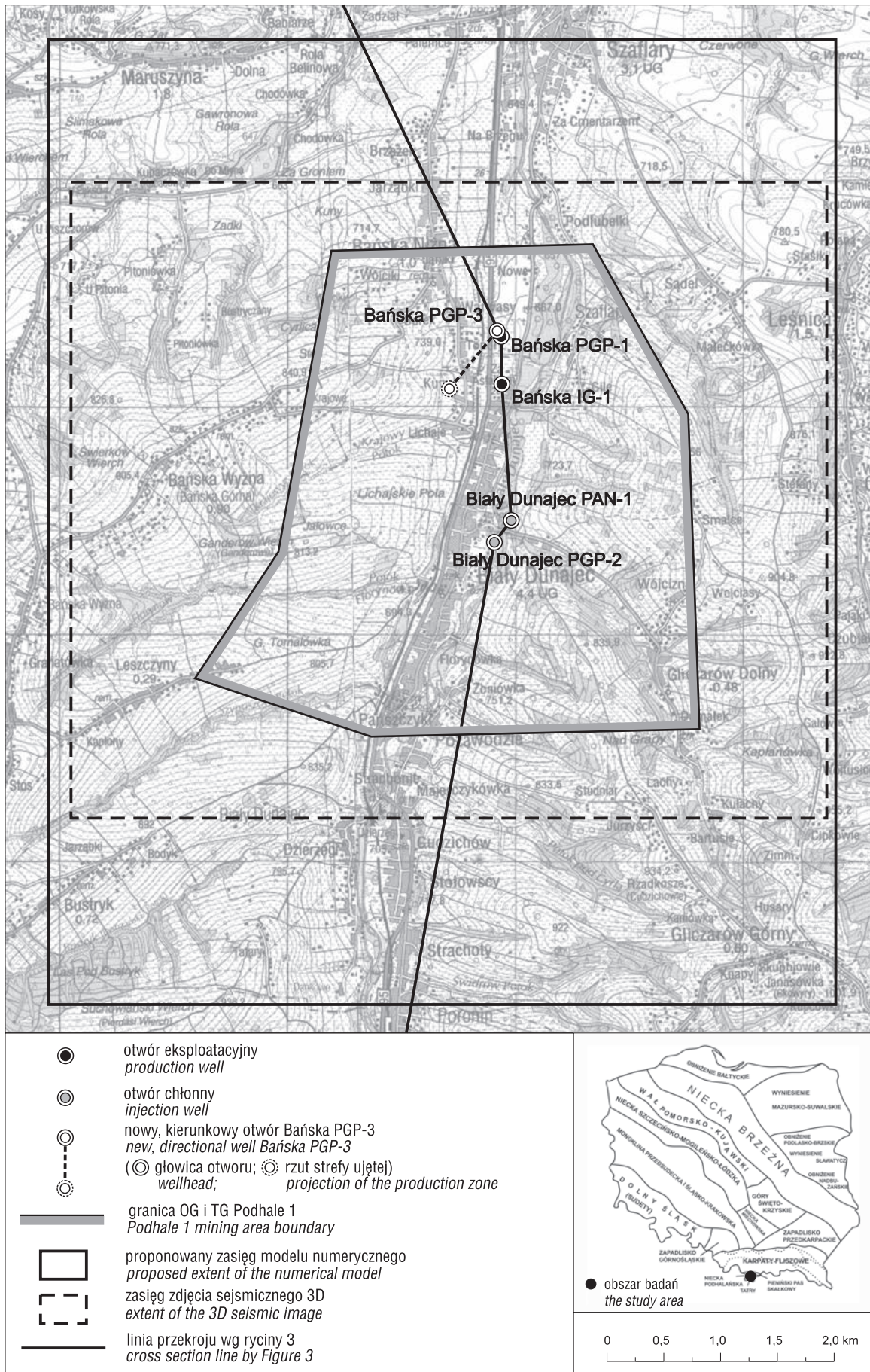
3000 m w zachodniej części niecki w okolicach Witowa i Chochołowa (Chowaniec i in., 1997). Jednostka Białego Dunajca zapada w kierunku północnym, wyklinowując się na kontakcie z pienińskim pasem skałkowym, w strefie o sieci równoległych uskoku, przecinających nieprzepuszczalne warstwy podścielające, warstwy głównego poziomu wodonośnego oraz warstwy szaflarskie fliszu. Tymi uskoki są transportowane wody ku powierzchni (strefa ascenzyjna północna). Bariera pienińskiego pasa skałkowego, zinterpretowana na podstawie testów hydrodynamicznych, znajduje się w odległości ok. 1700 m od otworu Bańska PGP-1, na głębokości kolektora wód termalnych, tj. jednostki Białego Dunajca (Barbacki i in., 1998) i stanowi strefę kontaktu z utworami nieprzepuszczalnymi. Podobnie jest w strefie otworów chłonnych w Białym Dunajcu, gdzie interpretacja modelu hydrodynamicznego oraz zdjęć sejsmicznych wykazała istnienie trzech równoległych uskoku o zasięgu lokalnym, znajdujących się w odległości ok. 1,3 km na południe od otworu Biały Dunajec PGP-2 (Barbacki i in., 1998). Jeden z uskoku stanowi barierę uszczelniającą (Nagy i in., 1999). Dalej, w kierunku na południe, poprzeczny środkowy uskok ztraca charakter bariery uszczelniającej, co wykazały badania w odwiertach Poronin PAN-1 i Furmanowa PIG-1 (Nagy i in., 1999). W odległości ok. 4400 m na południe od otworu w Poroninie rozpoznawalna staje się granica o stałym ciśnieniu, będąca strefą zasilania, zlokalizowaną przy północnej granicy Tatr (Nagy i in., 1999; Nagy & Długosz, 2000). Przepuszczalność w centralnej części niecki podhalańskiej wykazuje znaczną anizotropię. Testy interferencyjne przeprowadzone w latach 1997–1998, wykazały ok. 4-krotnie wyższą przepuszczalność wzdłuż osi wschód–zachód, w porównaniu z osią północ–południe (Nagy & Długosz, 2000). Jest to związane z siecią równoległych uskoku w podfliszowych warstwach, doskonale widocznych na zdjęciach sejsmicznych 3D (Ochał & Gąsiorek, 2002).

Całkowita miąższość warstwy wodonośnej w okolicy otworów w Bańskiej i Białym Dunajcu dochodzi do 700 m, jednak efektywna miąższość jest znacznie mniejsza (do 187 m dla otworu Bańska PGP-1 i 236 m dla otworu Bańska PGP-3). Zarówno otwory produkcyjne, jak i chłonne udostępniają przede wszystkim wody z górnej części warstwy wodonośnej (jedynie otworem Bańska PGP-3 udostępniono całkowitą miąższość głównego kolektora geotermalnego). Wydzielono więc subwarstwy w zasadniczym kolektorze, zgodnie z charakterystyką określającą stopień dopływu do otworów.

Wody termalne krążą zgodnie z kierunkiem zapadania serii wodonośnych, z południa na północ, rozprzyskując się wachlarzowo przed nieprzepuszczalną barierą pienińskiego pasa skałkowego w kierunku wschodnim i zachodnim (ryc. 2). Prędkość przepływu wód sukcesywnie spada z południa na północ, od dziesiątek do kilku metrów na rok. Wody te w nieznacznym stopniu są drenowane przez wyżej leżące warstwy fliszu, co objawia się nieco podwyższonymi temperaturami niektórych źródeł (Chowaniec, 2009). Głównym nośnikiem informacji o głębokości występowania, miąższości oraz przebiegu uskoku są zdjęcia sejsmiczne 3D wykonane przez Geofizykę Kraków (Ochał

² TVD (ang. *true vertical depth*) – rzeczywista głębokość pionowa.

³ MD (ang. *measured depth*) – głębokość pomiarowa (długość otworu).

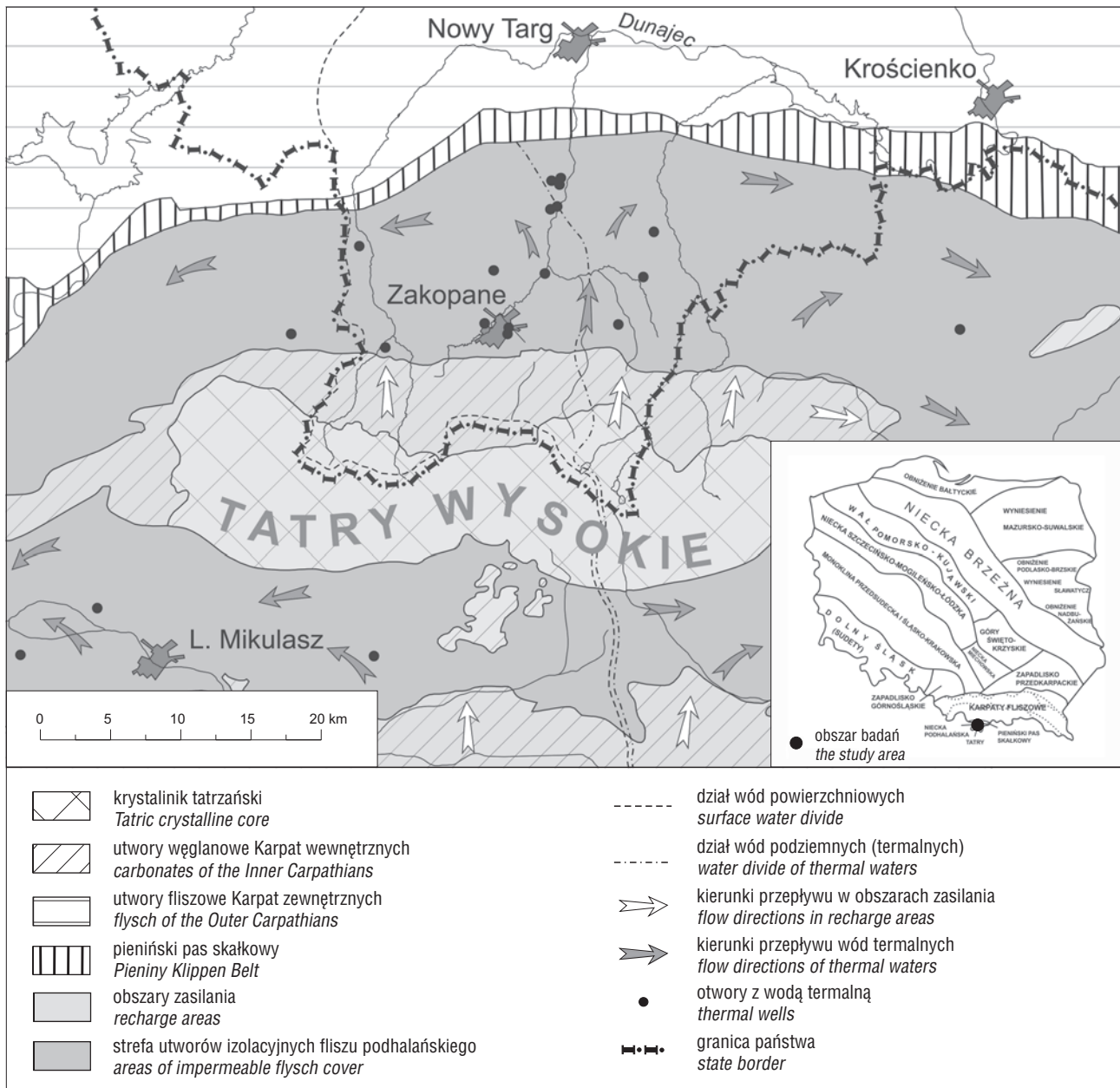


Ryc. 1. Lokalizacja rejonu badań (podkład: mapa topograficzna w skali 1 : 50 000, PUWG 1992)

Fig. 1. Location of the study area (background: 1 : 50 000 scale Topographic Map, coordinate system: EPSG 2180)

Tab. 1. Zestawienie parametrów złożowych wydzielonych w modelu struktur geologicznych
 Table 1. List of reservoir parameters of geological structures determined in model

Lp. No.	Opis wydzielonych struktur geologicznych Description of determined geological structures	Gęstość Density [kg/m ³]	Porowatość Porosity [-]	Przepuszczalność XY Permeability XY [m ²]	Przepuszczalność Z Permeability Z [m ²]	Współczynnik przewodnictwa cieplnego Heat conductivity coefficient [W/mK]	Ciepło właściwe Specific heat [J/kgK]
1	warstwy fliszowe flysh layers	2650	0,10	10 ⁻¹⁶	10 ⁻¹⁷	2,2	900
2	warstwy fliszowe w strefie ascenzyjnej północnej flysh layers in the northern ascension part	2650	0,10	10 ⁻¹⁶	5,0·10 ⁻¹⁷	2,2	900
3	pieniński pas skalkowy Pieniny Klippen Belt	2700	0,02	10 ⁻¹⁶	10 ⁻¹⁷	2,6	900
4	warstwy jednostki Bańskiej layers of the Bańska Unit	2800	0,03	10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹⁶	3,3	950
5	warstwy mezozoiczne zalegające poniżej jednostki Bańskiej Mesozoic layers below the Bańska Unit	2800	0,03	10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹⁷	3,3	1000
6	strefa intensywnego dopływu w otoczeniu otworów w Białym Dunajcu zone of high flow rate in the vicinity of the Biały Dunajec boreholes	2800	0,04	3,1·10 ⁻¹³	10 ⁻¹³	3,4	920
7	strefa zmniejszonego dopływu w strefie otworów w Białym Dunajcu zone of low flow rate in the vicinity of the Biały Dunajec boreholes	2800	0,035	5,0·10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁴	3,3	920
8	strefa zwiększonego dopływu w strefie otworów w Bańskiej zone of high flow rate in the vicinity of the Bańska boreholes	2800	0,04	3,3·10 ⁻¹³	8,0·10 ⁻¹⁴	3,6	920
9	strefa zmniejszonego dopływu w strefie otworów w Bańskiej zone of low flow rate in the vicinity of the Bańska boreholes	2800	0,035	5,0·10 ⁻¹⁴	5,0·10 ⁻¹⁵	3,3	920
10	jednostka Białego Dunajca w centralnej części modelu Biały Dunajec Unit in central part of the model	2800	0,04	3,1·10 ⁻¹³	2,0·10 ⁻¹⁵	3,3	920
11	jednostka Białego Dunajca w centralno-północnej części modelu Biały Dunajec Unit in central-north part of the model	2800	0,04	1,0·10 ⁻¹³	3,0·10 ⁻¹⁵	3,6	920
12	spągowa część jednostki Białego Dunajca bottom part of the Biały Dunajec Unit	2800	0,035	10 ⁻¹⁴	5,0·10 ⁻¹⁶	3,6	920
13	część południowo-wschodnia jednostki Białego Dunajca South-eastern part of the Biały Dunajec Unit	2800	0,04	10 ⁻¹³	10 ⁻¹⁴	3,0	920
14	część północno-wschodnia jednostki Białego Dunajca North-eastern part of the Biały Dunajec Unit	2800	0,035	6,0·10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁵	3,0	920
15	część zachodnia wodonośnej jednostki Białego Dunajca Western part of the Biały Dunajec Unit	2800	0,04	3,0·10 ⁻¹³	10 ⁻¹⁴	3,4	920
16	spągowa warstwa modelu bottom most part of the model	2800	0,03	1,0·10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹⁷	3,3	1000
17	strefa uskokiowa w pobliżu otworu Biały Dunajec PAN-1 fault zone in the vicinity of the Biały Dunajec PAN-1 borehole	2800	0,04	3,1·10 ⁻¹³	2,0·10 ⁻¹³	3,5	920
18	strefa uskokiowa w pobliżu otworu Bańska PGP-1 fault zone in the vicinity of the Bańska PGP-1 borehole	2800	0,04	5,5·10 ⁻¹³	2,0·10 ⁻¹³	3,5	920
19	strefa o zmniejszonej przepuszczalności wskutek istnienia dodatniej wartości zeskoku hydraulicznego sąsiedztwie otworu Bańska IG-1 zone of the lowered permeability due to positive skin effect value in the vicinity of the Bańska IG-1 borehole	2800	0,04	1,8·10 ⁻¹³	8,0·10 ⁻¹⁴	3,7	920



Ryc. 2. Schemat krążenia wód w zbiorniku wód termalnych Karpat Wewnętrznych (wg Chowańca, 2009, zmienione)
Fig. 2. Diagram of water circulation within geothermal reservoir of the Inner Carpathians (after Chowaniec, 2009, modified)

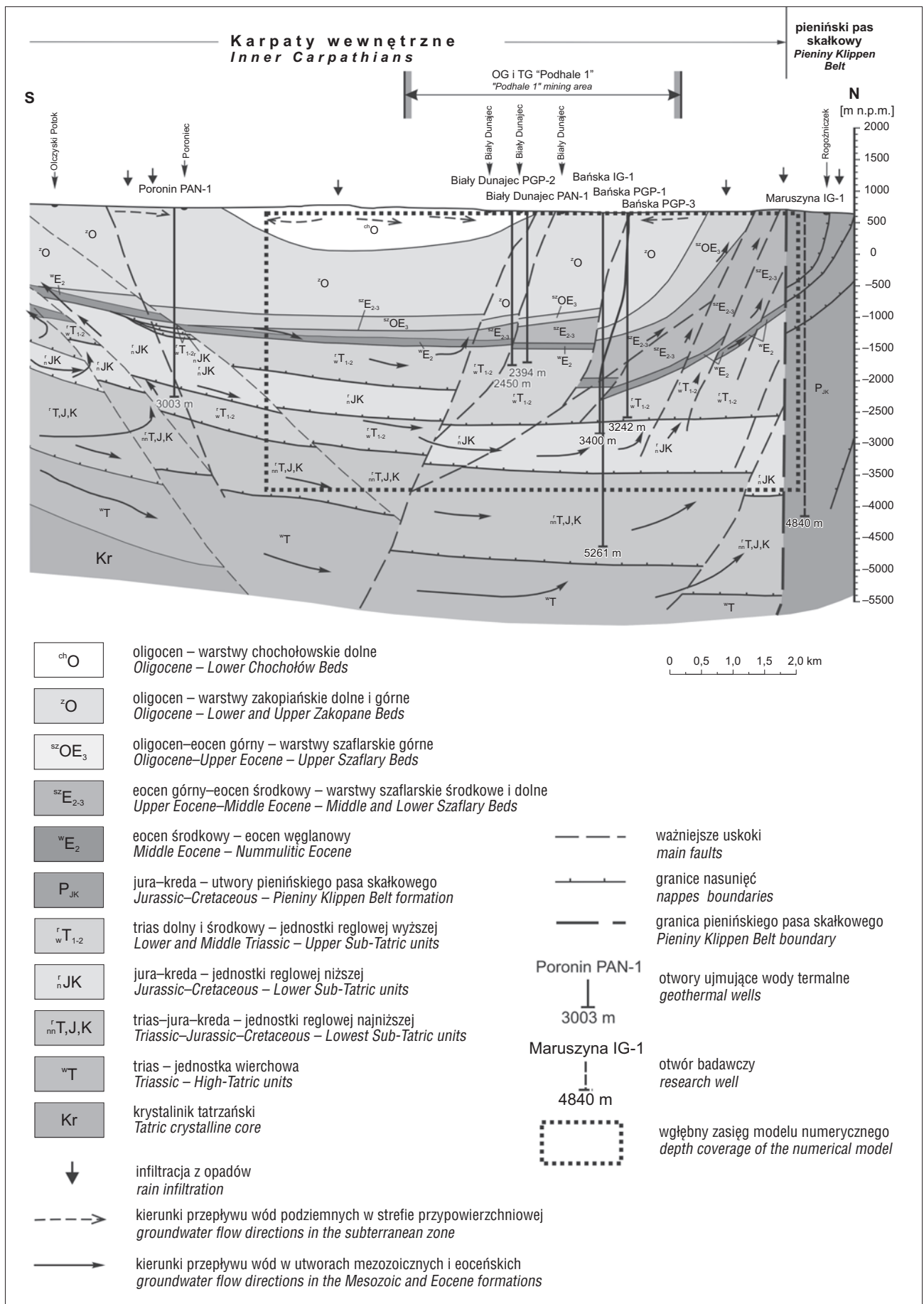
& Gąsiorek, 2002). Stopień pokrycia proponowanego modelu numerycznego przez zdjęcie sejsmiczne przedstawiono na rycinie 1.

W centralnej części modelowanego obszaru, w rejonie otworów w Białym Dunajcu, stwierdzono dodatnią anomalię termiczną, objawiająca się temperaturami złożowymi rzędu 80–100°C na głębokości 2–3 km i jest ona większa niż wskazuje na to lokalny gradient termiczny, rzędu 1,9–2,3°C/100 m (Kępińska, 2001). Fakt ten jest tłumaczony transportem ciepła poprzez sieć głębokich uskoków oraz licznych spękań, a także jako wynik konwekcyjnego transportu ciepła w samej warstwie wodonośnej. W profilu termicznym otworu Bańska IG-1 zaznacza się obecność nieprzepuszczalnych warstw fliszu podhalańskiego, które stanowią izolację dla dalszej migracji ciepła ku powierzchni, choć w strefie przypienińskiego kontaktu z systemem podhalańskim odkryto dodatnie anomalie termiczne w warstwach fliszu (strefa asceyjna północna) (Pomianowski,

1988). Na rycinie 3 przedstawiono zasięg głębokościowy modelu na tle przekroju geologicznego przez nieckę podhalańską (Chowaniec, 2009).

PODSUMOWANIE

Znajomość specyfiki geologicznej i warunków wglębnych w konkretnej lokalizacji jest kluczowa dla podjęcia decyzji o realizacji otworów poszukiwawczych. Na etapie projektowania przedsięwzięcia jednakowo ważne są ocena kierunków zagospodarowania i/lub sposób utylizacji wykorzystanych wód. Modelowa procedura powinna mieć na względzie zapewnienie odnawialności zasobów energii geotermalnej, możliwość długotrwałej i bezpiecznej eksploatacji złoża oraz zapewnienie nie tylko działalności efektywnej ekonomicznie, lecz także bezpiecznej ekologicznie. W związku z tym najlepszą i najbezpieczniejszą dla złoża wód termalnych jest eksploatacja w systemie za-



Ryc. 3. Zasięg głębokościowy proponowanego modelu numerycznego na tle przekroju geologicznego (wg Chowańca, 2009, zmienione)
Fig. 3. The depth coverage of the proposed numerical model against the geological cross section (after Chowańca, 2009, modified)

mkniętym. Ze względu jednak na wciąż wysokie koszty wierceń głębokich otworów, czy też problemy z korozją i kolmatacją otworów chłonnych, ten kierunek utylizacji wód jest stosowany w ograniczonym zakresie. Zwykle schłodzone, odpadowe wody termalne są jałowo zrzucane do cieków powierzchniowych, dlatego zaproponowano wykorzystanie odpadowych wód termalnych, po ich uzdatnieniu, do celów pitnych i gospodarczych. Dla badanej struktury określono warunki geologiczne, wydzielając 19 struktur geologicznych, zróżnicowanych w zakresie gęstości skał, porowatości, przepuszczalności oraz parametrów cieplnych. Wskazano przebieg głównych dyslokacji tektonicznych, kierunki przepływu wód oraz scharakteryzowano warunki termiczne. Omówiono zwięźle warunki eksploatacji ujęć geotermalnych.

Wykonany model koncepcyjny dla systemu geotermalnego Podhala pozwoli w dalszej kolejności na realizację modelu numerycznego i określenie maksymalnego strumienia wody termalnej, który w analizowanych warunkach geologiczno-złożowych nie zakłóci pracy systemu geotermalnego, a w szczególności nie wpłynie na zubożenia zasobów tej energii.

Praca zrealizowana w ramach Projektu Nr 245079 pt. „Pozyskanie wód pitnych oraz cieczy i substancji balneologicznych w procesie uzdatniania schłodzonych wód termalnych”, finansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (Decyzja Nr DZP/PBS3/2397/2014 na lata 2014–2017).

LITERATURA

- BARBACKI A., BUJAKOWSKI W., CHOWANIEC J., DŁUGOSZ P., DROZDOWSKI B., GRACZYK S., KEPIŃSKA B., NAGEL J., NAGY S., NEY R., WARTAK W., WIECZOREK J. & WITCZAK S. 1998 – Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów eksploatacyjnych wód termalnych z utworu eocenu i triasu ujętych otworami Bańska PGP-1 i Biały Dunajec PGP-2. Państw. Inst. Geol., Oddział Karpacki, IGSMiE PAN, Kraków. Arch. PEC Geotermia Podhalańska S.A.
- CHOWANIEC J. 2009 – Studium hydrogeologii zachodniej części Karpat polskich. Biul. Państw. Inst. Geol., 734: 1–98.
- CHOWANIEC J., DŁUGOSZ P., DROZDOWSKI B., NAGY S., POPRAWA D., WITCZAK S. & WITEK K. 1997 – Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód termalnych niecki podhalańskiej. Państw. Inst. Geol., Oddział Karpacki, Kraków–Zakopane. Arch. PEC Geotermia Podhalańska S.A.
- KEPIŃSKA B. 1995 – Temperatura głównego poziomu wodonośnego pola geotermalnego Podhala. Technika Poszukiwań Geologicznych. Geosynoptyka i Geotermia, 6: 3–14.
- KEPIŃSKA B. 2001 – Warunki hydrotermalne i termiczne podhalańskiego systemu geotermalnego w rejonie otworu Biały Dunajec PAN-1. Studia, Rozprawy, Monografie, 93, s. 142.
- MASTELLA L. 1975 – Tektonika fliszu we wschodniej części podhala. Rocznik PTG, 45 (3/4): 361–401.
- NAGY S. & DŁUGOSZ P. 2000 – Identification of the low-enthalpy Podhale geothermal reservoir based upon long term interference and pulse hydrodynamic testing. World Geothermal Congress 2000, Kyushu–Tohoku, Japan: 2739–2744.
- NAGY S., SUCH J. & SZOTT W. 1999 – Weryfikacja hydrodynamicznego modelu złożowego podfliszowych wód termalnych niecki podhalańskiej na podstawie testów hydrodynamicznych. [W:] X Międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna, Nowe metody i technologie w geologii naftowej, wiertnictwie, eksploatacji otworowej i gazownictwie. Kraków, 24–25 czerwca 1999, t. 2: 15–21.
- OCHAŁ J. & GAŚSIÓREK E. 2002 – Opracowanie wyników badań sejsmicznych. Temat: Bańska Niżna–Biały Dunajec – 3D. Rok: 2001/2002 – rozdz. 9, 10. Geofizyka Kraków. Arch. PEC Geotermia Podhalańska S.A.
- ÖNER Ş. G., KABAY N., GÜLER E., KITIŞ M. & YÜKSEL M. 2011 – A comparative study for the removal of boron and silica from geothermal water by cross-flow flat sheet reverse osmosis method. Desalination, 283: 10–15.
- PAJAŁ L. & BUJAKOWSKI W. 2013 – Energia geotermalna w systemach binarnych. Prz. Geol., 61 (11/2): 699–705.
- POMIANOWSKI P. 1988 – Anomalie termiczne nad strefą kontaktu pienińskiego pasa skałkowego i fliszu podhalańskiego. Prz. Geol., 2: 94–97.
- ŞİMŞEK Ş., YILDIRIM N. & GÜLGÖR A. 2005 – Developmental and environmental effects of the Kızıdere geothermal power project, Turkey, Geothermics, 34: 239–256.
- TOMASZEWSKA B. & BODZEK M. 2013a – Desalination of geothermal waters using a hybrid UF-RO process. Part I: Boron. removal in pilot-scale tests. Desalination, 319: 99–106.
- TOMASZEWSKA B. & BODZEK M. 2013b – Desalination of geothermal waters using a hybrid UF-RO process. Part II: Membrane scaling after pilot-scale tests. Desalination, 319: 107–114.
- TOMASZEWSKA B. & BODZEK M. 2013c – The removal of radionuclides during desalination of geothermal waters containing boron using the BWRO system. Desalination, 309: 284–290.
- TOMASZEWSKA B. & PAJAŁ L. 2012 – Geothermal water resources management-economic aspects of their treatment. Gosp. Sur. Miner., 4: 59–70.
- TOMASZEWSKA B. & PAJAŁ L. 2013a – Using treated geothermal water to replenish network water losses in a district heating system – Polish J. Environ. Stud., 22 (1): 243–250.
- TOMASZEWSKA B. & PAJAŁ L. 2013b – Zagospodarowanie schłodzonych i odsolonych wód termalnych w podhalańskiej sieci ciepłowniczej. Gosp. Sur. Miner., 29 (1): 127–139.
- TOMASZEWSKA B. & SZCZEPAŃSKI A. 2014 – Possibilities for the efficient utilisation of spent geothermal waters. Environ. Sci. Pollut. Res., 21: 11409–11417.
- TOMASZEWSKA B., PAJAŁ L. & BODZEK M. 2014 – Application of a hybrid UF-RO process to geothermal water desalination. Concentrate disposal and costs analysis. Archives Of Environmental Protection, 40 (3): 137–151.