

Pozyskanie wód pitnych oraz cieczy i substancji balneologicznych w procesie uzdatniania schłodzonych wód termalnych – cele i założenia projektu

Barbara Tomaszewska¹

Obtaining of drinking water and liquids and balneological substances in the treatment of cooled thermal waters – the aims and objectives of the project. *Prz. Geol.*, 63: 1111–1114.

Abstract. During the last decade, an increase in global geothermal energy usage has been recorded. Technological development and the increased efficiency of the systems used as well as environmental and economic considerations have played a fundamental role in this process. Geothermal energy is used directly (for heating, leisure and balneological purposes, in agriculture and aquaculture where thermophilic species are bred, etc.) in 78 countries of the world. Key factors that determine the conditions in which geothermal waters are used, the amount of energy obtained and the manner in which cooled water is utilised include water salinity and the presence of specific ingredients. Elevated salinity levels and the presence of microelements such as boron, barium, strontium, fluorides, bromides and heavy metals may often lead to difficulties related to the utilisation of spent waters. The papers presents the aims and objectives of the new Project "Obtaining of drinking water and liquids and balneological substances in the treatment of cooled thermal waters and the results of previous research related to the use of desalination processes to treat spent geothermal water".

Keywords: geothermal water, water treatment, treated water and concentrate used

W ostatniej dekadzie na świecie odnotowano wzrost wykorzystania energii geotermalnej. Rozwój technologiczny i większa efektywność stosowanych systemów oraz względy ekologiczne i ekonomiczne odegrały w tym procesie zasadniczą rolę (Lund i in., 2011). W sposób bezpośredni (w ciepłownictwie, rekreacji, balneologii, w rolnictwie, hodowlach organizmów wodnych – ciepłolubnych i in.) energię geotermalną wykorzystuje się w 78 krajach świata (Kepińska, 2010). Zmineralizowane wody termalne oraz wody termalne słodkie zostały udostępnione na terenie Polski głównie w celach ciepłowniczych i rekreacyjnych. W 2014 r. pracowało w Polsce kilkanaście instalacji wykorzystujących energię geotermalną do celów grzewczych, w tym pięć ciepłowni zaopatrujących sieci centralnego ogrzewania: Bańska Niżna (Podhale), Mszczonów, Uniejów, Pyrzyce i Stargard Szczeciński. Ponadto kilka instalacji w kompleksach rekreacyjnych, które oprócz wód termalnych wykorzystują we własnym zakresie odzyskane z nich ciepło (m.in. ogrzewanie obiektów – „Terma Bukowina Tatrzańska”, „Termy Uniejów”; podgrzewanie wody w basenie – „Kapielisko Geotermalne Szymoszkowa” w Zakopanem) (Chowaniec, 2009; Bujakowski, 2010; Kepińska, 2011).

W ostatnich latach rozpoczęto kolejne inwestycje, mające na celu eksploatację wód termalnych w: Toruniu, Kleszczowie, Poddębicach, Niedźwiedziu, Tarnowie Podgórny, Trzęsaczu. We wszystkich tych miejscach są wykonane już odwierty eksploatacyjne, a w Tarnowie Podgórny, Toruniu i Kleszczowie wywiercono również otwory chłonne i udokumentowano zasoby. Wstępne rozpoznanie zbiorników hydrogeotermalnych oraz bilanse cieplne dla systemów bazujących na energii geotermalnej zostały przedstawione w atlasach geotermalnych, opracowanych pod redakcją prof. W. Góreckiego (2006, 2011, 2012, 2013). Obejmują one swym zasięgiem większą część Polski: formacje Niżu Polskiego, Karpat Zachodnich, zapa-

dliska przedkarpackiego oraz Karpat Wschodnich. W większości obszarów predestynowanych do geotermalnego wykorzystania występują wody od słabo do silnie zmineralizowanych.

W latach 2008–2012 w Instytucie Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk w Krakowie (IGSMiE PAN), we współpracy ze specjalistami z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie i Politechniki Śląskiej w Gliwicach, został zrealizowany projekt badawczo-rozwojowy, Nr 09-0003-04/2008, pt. „Kompleksowe wykorzystanie wód termalnych w kontekście poprawy bilansu wodnego i ograniczenia lub likwidacji ilości zatłaczanych wód do górotworu”. Podjęte w IGSMiE PAN badania w kierunku oceny możliwości wykorzystania odpadowych, schłodzonych wód termalnych pokazały, że wody te, po wykorzystaniu w celach ciepłowniczych, mogą być, po spełnieniu odpowiednich warunków, wtórnie wykorzystywane również w celach pitnych, gospodarczych i technologicznych. Dotychczas w Polsce dla potrzeb zaopatrzenia w wodę przeznaczoną do spożycia schłodzona woda termalna jest wykorzystywana tylko w Mszczonowie (województwo mazowieckie), w systemie Geotermii Mazowieckiej S.A. Ten kierunek zagospodarowania wód po odzysku ciepła znacząco poprawił efektywność gospodarowania wodami podziemnymi zbiornika kredy dolnej.

Wyniki realizacji wspomnianego projektu pozwoliły na sprecyzowanie dalszych kierunków badań w celu wykorzystania wiedzy mającej zastosowanie praktyczne w dziedzinie nauk o Ziemi, łączącej dyscypliny takie jak geotermia, hydrogeologia, a także gospodarka wodna, ochrona środowiska i balneologia. Stały się one podstawą realizacji nowego projektu, finansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, pt. „Pozyskanie wód pitnych oraz cieczy i substancji balneologicznych w procesie uzdatniania schłodzonych wód termalnych”.

¹ Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, ul. Wybickiego 7, 31-261 Kraków; tomaszewska@meeri.pl.

CEL PRACY

Na bazie przeprowadzonych dotychczas badań odsalania wykorzystanych, schłodzonych wód termalnych przedstawiono plan dalszych prac badawczych w celu kompleksowego i wszechstronnego wykorzystania wód termalnych. Przewiduje on przede wszystkim wykonanie badań w kierunku:

1) optymalizacji pracy systemu uzdatniania wód termalnych dla efektywnego technicznie i ekonomicznie pozyskania wód pitnych i/lub technologicznych;

2) pozyskania, na bazie wytworzonego koncentratu, cieczy i substancji balneologicznych.

MATERIAŁY I METODY

Odsalanie wody morskiej lub zasolonych wód podziemnych jest częstym sposobem otrzymywania wody do picia lub na potrzeby gospodarcze. Jest też głównym źródłem wody w rejonach o suchym klimacie. Proces odsalania wody z wykorzystaniem technik membranowych prowadzi do separacji roztworu na dwa strumienie:

1) wody oczyszczonej (*permeate*), cechującej się niską zawartością substancji rozpuszczonych;

2) koncentratu (*retentate*), który zawiera odseparowane cząstki i substancje rozpuszczone.

Pierwsze w Polsce badania w celu oceny możliwości uzyskania wód pitnych ze schłodzonych, odpadowych wód termalnych przeprowadzono z wykorzystaniem zintegrowanego układu, łączącego procesy odżelaziania, ultrafiltracji (UF) i dwóch niezależnych stopni odwróconej osmozy (RO-1 i RO-2), połączonych szeregowo (Tomaszewska, 2011a; 2011b; Bujakowski i in., 2012; Tomaszewska & Bodzek, 2013a). Instalacja będzie wykorzystywana również w badaniach przemysłowych objętych omawianym projektem. Szczegółowy opis systemu zainstalowanego w Laboratorium Geotermalnym IGSMiE PAN w Bańskiej Niżnej został przedstawiony w pracach Tomaszewskiej i Bodzka (2013a; 2013c). Dalsze badania mają na celu przede wszystkim usprawnienie technologii uzyskiwania wód pitnych oraz cieczy i produktów balneologicznych z koncentratu. Istotnym elementem badań będzie określenie kryteriów i wskazań technologiczno-ekonomicznych dla wdrożenia analizowanych procesów w systemach geotermalnych.

Przewidziano realizację uzupełniających testów uzdatniania wód termalnych w skali laboratoryjnej, aby zweryfikować i dobrać odpowiednie dla wytypowanych wód układy technologiczne oraz materiałowe (w tym rodzaj membran). Zaplanowano badania laboratoryjne z udziałem wód termalnych i różnych układów hybrydowych łączących ultrafiltrację, nanofiltrację i odwróconą osmozę. Doświadczenia uzyskane w ramach poprzedniego projektu wykazały, że niezmiernie istotne jest wskazanie i dobór najlepszej i najbardziej uzasadnionej ekonomicznie metody wstępnego uzdatniania wód, w tym usuwania jonów dwuwartościowych lub ich kompleksowania przed skierowaniem wody na system odwróconej osmozy (Tomaszewska & Bodzek, 2013b). Ma to na celu zabezpieczenia systemu RO przed scalingiem. Stąd rozpatrzona zostanie skuteczność nanofiltracji i wybranych/dostępnych anty-

skalantów. Testy te będą ukierunkowane na aspekty eksploatacyjne:

- 1) rodzaj i jakość stosowanych membran,
- 2) rodzaj stosowanych substancji chemicznych,
- 3) optymalizację usuwania składników niepożądanych,
- 4) optymalizację procesu końcowego uzdatniania permeatu.

W kolejnym etapie zaplanowano testy i badania w skali półtechnicznej. Woda termalna z wytypowanych odwiertów będzie poddawana uzdatnianiu w skali półprzemysłowej. Badania przebiegać będą kilkietapowo, obejmując:

1) optymalizację procesu uzdatniania na potrzeby pozyskania wód pitnych, z jednoczesnym odzyskiem substancji balneologiczno-leczniczych;

2) optymalizację procesu uzdatniania na potrzeby pozyskania wód technologicznych wysokiej jakości, z jednoczesnym odzyskiem substancji balneologiczno-leczniczych.

Równocześnie będą prowadzone analizy w celu sprawdzenia zgodności właściwości uzyskiwanych produktów z wymaganiami określonymi m.in. w:

– Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi);

– Polskiej normie: PN-85/C-04601 (Woda do celów energetycznych. Wymagania i badania jakości wody dla kotłów wodnych i zamkniętych obiegów ciepłowniczych);

– Rozporządzeniu Ministra Zdrowia w sprawie zakresu badań niezbędnych do ustalenia właściwości leczniczych naturalnych surowców leczniczych i właściwości leczniczych klimatu, kryteriów ich oceny oraz wzoru świadectwa potwierdzającego te właściwości.

Ustalona zostanie stabilność jakości produktów w funkcji zmiany parametrów i czynników eksploatacyjnych: fizycznych – ciśnienia, pH, temperatury; rodzaju i jakości stosowanych membran; stosowanych substancji chemicznych. W ocenie stabilności uzyskiwanych produktów zostaną wykorzystane statystyczne metody badań (zapewnienia jakości/kontroli jakości, QA/QC), oparte na doświadczeniach Katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH (Szczepańska & Kmieciak, 2005; Kmieciak, 2011). Na podstawie badań modelowych zostanie określony maksymalny strumień wody termalnej, który w konkretnych warunkach geologiczno-złożowych i gospodarczych będzie możliwy do zagospodarowania w procesie uzdatniania. Przewidziano również wykonanie analizy rynku potencjalnych podmiotów gospodarczych, zainteresowanych odbiorem:

- 1) wód pitnych i gospodarczych,
- 2) wód technologicznych,
- 3) cieczy i substancji balneologicznych.

Oszacowana zostanie cena zbytu wyżej wymienionych produktów.

WYNIKI DOTYCHCZASOWYCH BADAŃ

Zrealizowane badania w skali półtechnicznej (długotrwałe – 8 miesięcy, na bazie wód z ujęcia Bańska IG-1, oraz testy krótkotrwałe – 11 godzin, z ujęć Uniejów PIG/AGH-2 oraz Rabka IG-2) wykazały, że wykorzystując stosunkowo niskie ciśnienie transmembranowe (1,1 MPa)

w procesie odwróconej osmozy (RO), można uzyskać stosunkowo wysoki poziom odrzucenia składników niepożądanych, w tym 96–97% w odniesieniu do mineralizacji, 94% w odniesieniu do SiO_2 , 92% dla fluoru i ok. 98–99% dla głównych składników nieorganicznych wody (Tomaszewska & Bodzek, 2013a). W przypadku występowania wysokich stężeń jonów boru w źródle zasilania, co jest zjawiskiem powszechnym zarówno w polskich, jak i zagranicznych systemach geotermalnych, może występować konieczność zastosowania dwustopniowego systemu RO z korektą odczynu wody. W wodzie o niskim pH kwas borowy występuje w postaci molekularnej i charakteryzuje się słabą hydratacją, z uwagi na brak ładunku jonowego. To sprawia, że ma mniejszy rozmiar i jest w niskim stopniu usuwany przez membranę RO. Zdysocjowana forma boru jest w pełni uwodniona, charakteryzuje się większym rozmiarem, dużym promieniem i zwiększonym ujemnym ładunkiem jonowym (Kołtuniewicz & Drioli, 2008; Bodzek & Konieczny, 2011; Tomaszewska & Bodzek, 2013a). Wpływa to na wyższą retencję boru zarówno poprzez odrzucenie, jak i odpychanie ujemnie naładowaną membraną (Tomaszewska & Bodzek, 2013a).

Modelowanie form występowania boru w badanych wodach termalnych wykazało, że przy pH obojętnym bor w 98% występuje jako niezdisocjowany kwas borowy (H_3BO_3). Pozostałe 2% to jon metaborowy (H_2BO_3^-) oraz poliborany fluoru: $\text{BF}(\text{OH})_3^-$, $\text{BF}_2(\text{OH})_2^-$, BF_3OH^- oraz BF_4^- . Modyfikacja odczynu pH do lekko kwaśnego (pH 5) sprawia, że kwas borowy jest formą dominującą (99,98%), a jego retencja waha się pomiędzy 48% (dla wody z ujęcia GT-1) do 56% (dla GT-2). Odwrotnie, dla permeatu uzyskanego po pierwszym stopniu odsalania (RO-1) i po korekcie jego odczynu do 10, anion metaborowy (H_2BO_3^-) jest główną formą występowania boru (95,5%) w wodach ujęć Bańska IG-1 i Uniejów PIG/AGH-2. Przy pH = 11 ta specjacja przyjmuje 98,5% analitycznie oznaczonej zawartości boru w wodzie (Tomaszewska & Bodzek, 2013a). Wyniki przeprowadzonych analiz wykazały bezpośrednią zależność pomiędzy stopniem usuwania boru przez membranę RO, a formą jego występowania w wodzie. Stąd w przypadku podwyższonych stężeń tego pierwiastka w wodach termalnych i innych dla uzyskania wody spełniającej wymagania stawiane wodom pitnym jest niezbędna korekta odczynu, ale nie jest ona możliwa obligatoryjnie przez skierowanie wody na membranę RO-1. Wysokie pH wody przyspiesza bowiem wytrącanie osadów, które mogą prowadzić do scalingu membran. Korektę pH wody można więc przeprowadzić dopiero po wstępnym uzdatnieniu wody, przede wszystkim po znaczącym obniżeniu zawartości jonów dwuwartościowych.

Przeprowadzone dotychczas badania w zakresie wskaźników nieorganicznych wykazały, że zastosowany system odsalania wód termalnych, łączący odżelazianie, ultrafiltrację i odwróconą osmozę wyposażoną w membrany niewymagające zbyt wysokiego ciśnienia transmembranowego (BWRO), może być stosowany do uzdatniania odpadowych schłodzonych wód termalnych, słonawych, o mineralizacji do ok. 10 g/dm^3 . Uzyskano bowiem korzystne współczynniki retencji dla kluczowych składników wody (Tomaszewska, 2012):

– po RO-1: TDS 91–93%, Na 92–93%, Cl 94–97%, SO_4 99%, As 95%, Cr 99%, Al 99%, Fe 87–99%, Sr 90–99%, Si 81–94%;

– po RO-2: TDS 93–96%, Na 91–93%, Cl 99%, SO_4 99%, As 96%, Cr 99%, Al 99%, Fe 98–99%, Sr 96–99%, Si 99%.

Warto podkreślić, że uzyskano również korzystne wyniki w zakresie wymaganych wskaźników bakteriologicznych, organicznych oraz radiologicznych, określonych Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.

Szczegółowe wyniki analiz jakości odsolonych wód z badanych trzech ujęć termalnych można znaleźć w pracach Tomaszewskiej (2012), Tomaszewskiej i Bodzka (2013a; 2013b; 2013c), Tomaszewskiej i Szczepańskiego (2014).

Przeprowadzone badania i analizy pokazały dodatkowo, że wody termalne niecki podhalańskiej oczyszczone z wykorzystaniem procesów membranowych mogłyby być wtórnie wykorzystywane w celu napełniania i uzupełniania strat obiegów ciepłowniczych. Niebagatelne znaczenie z punktu widzenia użytkownika wód termalnych będzie miało ostatecznie uzyskanie znacznie zdemineralizowanej wody, którą można będzie wykorzystywać gospodarczo, bądź bezpiecznie odprowadzić do wód powierzchniowych lub do górotworu. Powinno to znacząco obniżyć koszty pozyskania energii i gospodarki wodami zużytymi.

Badania właściwości fizykochemicznych koncentratu (retentatu) uzyskanego w procesie odsalania wód z ujęć Bańska IG-1 i Uniejów PIG/AGH-2 wykazały (Tomaszewska i in., 2014), że może on być stosowany jako alternatywny produkt o cechach balneologicznych. Chociaż w określonych przypadkach jego zastosowanie mogą ograniczyć występujące w wodach termalnych mikroelementy, m.in. arsen, bar, bor, metale ciężkie i in. Najwyższe dopuszczalne stężenia składników niepożądanych (o nadmiernych stężeniach) oraz toksycznych określa Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 15 kwietnia 2006 r. Charakterystyka fizykochemiczna koncentratu zależy bezpośrednio od jakości wody zasilającej system odsalania, jakości wody odsolonej (uzależnionej od poziomu odzysku permeatu, stopnia retencji poszczególnych składników), zastosowanej metody wstępnego odsalania, ilości i rodzaju użytych w procesie odczynników chemicznych oraz metody okresowego czyszczenia membran. Wyniki badań koncentratu z odsalania wód termalnych z ujęć Bańska IG-1 i Uniejów PIG/AGH-2 wykazały jednakże możliwość jego stosowania np. w basenach rekreacyjnych (Tomaszewska & Szczepański, 2014; Tomaszewska i in., 2014).

PODSUMOWANIE

Projekt „Pozyskanie wód pitnych oraz cieczy i substancji balneologicznych w procesie uzdatniania schłodzonych wód termalnych” jest ukierunkowany na wskazanie optymalnych rozwiązań technologicznych i ekonomicznych dla zagospodarowania potencjału odpadowych wód termalnych w dwóch obszarach: 1) dla pozyskania wód pitnych i gospodarczych oraz 2) przygotowania na bazie wytworzonego koncentratu cieczy i substancji balneologicznych.

W celu wskazania nowych zastosowań dla odpadowych wód termalnych zostaną przeprowadzone kompleksowe i interdyscyplinarne badania w zakresie geotermii, hydrogeologii, technologii uzdatniania wód, inżynierii i ochrony środowiska, a także gospodarki wodnej, balneologii, modelowania w hydrogeologii i geotermii. Podejmowane działania będą polegać na kompleksowym rozpoznaniu najbardziej optymalnych procesów dla ograniczenia kosztów oraz efektywnego usuwania z wód składników niepożądanych. Zostaną wykonane szczegółowe badania jakości uzyskiwanego permeatu i koncentratu w celu dopełnienia wymagań jakościowych oraz prawnych dla wskazań i kierunków zagospodarowania wytworzonych produktów. Kompleksowość i multidyscyplinarne podejście do całości zagadnienia dopełnią rozważania dotyczące zasobów wód (ilości), jakie mogą zostać poddane procesom uzdatniania w danych uwarunkowaniach geologiczno-złożowych. Dlatego też będą wykonane modelowania hydrodynamiczne pracy systemu geotermalnego w długiej perspektywie czasowej (50 lat).

Efektom projektu będzie opracowanie koncepcji systemów uwzględniających wskazanie praktycznych rozwiązań dla aplikacji przemysłowych, z uwzględnieniem skali przedsięwzięcia oraz prognozy kosztów ich wdrożenia. Opracowane zostaną modele matematyczne umożliwiające modelowanie wpływu zmian parametrów eksploatacyjnych na uzyskiwane efekty pracy systemów uzdatniania wód oraz wstępne analizy finansowe/wskaźnikowe dla etapu inwestycyjnego i funkcjonowania systemu uzdatniania wód termalnych w długim horyzoncie czasowym.

Praca zrealizowana w ramach Projektu Nr 245079 pt. „Pozy-skanie 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

- BODZEK M. & KONIECZNY K. 2005 – Wykorzystanie procesów membranowych w uzdatnianiu wody. Oficyna Wydawnicza Projprzem-EKO, Bydgoszcz, Poland (2005).
- BODZEK M. & KONIECZNY K. 2011 – Membrane techniques in the removal of inorganic anionic micropollutants from water environment – state of the art. Arch. Environ. Protect., 37 (2): 15–29.
- BUJAKOWSKI W. 2010 – Wykorzystanie wód termalnych w Polsce (stan na rok 2009). Prz. Geol., 58 (7): 580–588.
- BUJAKOWSKI W., TOMASZEWSKA B. & BODZEK M. 2012 – Geothermal water treatment – preliminary experiences from Poland with a global overview of membrane and hybrid desalination technologies. [W:] Bundschuh J. & Hoinkis J. (red.), Renewable Energy Applications for Freshwater Production (Sustainable Energy Developments), London, CRC Press INC: 181–206.
- CHOWANIEC J. 2009 – Studium hydrogeologii zachodniej części Karpat polskich. Biul. Państw. Inst. Geol., 734: 1–98.
- GÓRECKI W. (red.) 2006 – Atlas zasobów geotermalnych formacji mezozoicznej na Niżu Polskim. AGH, Kraków.
- GÓRECKI W. (red.) 2011 – Atlas zasobów wód i energii geotermalnej Karpat Zachodnich. Formacje fliszowe oraz utwory miocenijskie i mezozoiczno-paleozoiczne podłoża polskich Karpat Zachodnich. KSE AGH, Kraków.
- GÓRECKI W. (red.) 2012 – Atlas geotermalny Zapadliska Przedkarpackiego. Utwory miocenijskie oraz podłoża mazowiecko-paleozoiczne Zapadliska Przedkarpackiego. ZSE AGH, Kraków.
- GÓRECKI W. (red.) 2013 – Atlas geotermalny Karpat Wschodnich. Formacje fliszowe oraz miocenijskie i mezozoiczno-paleozoiczne podłoża Karpat Wschodnich. KSE AGH, Kraków.
- KEPIŃSKA B. 2010 – Stan i perspektywy wykorzystania energii geotermalnej na Świecie i w Europie. Prz. Geol., 58 (7): 560–565.
- KEPIŃSKA B. 2011 – Energia geotermalna w Polsce stan wykorzystania, perspektywy rozwoju. Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia. Zrównoważony Rozwój, 1–2: 7–18.
- KMIECIK E. 2011 – Metodyczne aspekty oceny stanu chemicznego wód podziemnych. Wyd. AGH, Kraków.
- KOŁTUNIEWICZ A.B. & DRIOLI E. 2008 – Membranes In Clean Technologies, Wiley-Vch Verlag GmbH, Weinheim.
- LUND J.W., FREESTON D. H. & BOYD T. L. 2011 – Direct utilization of geothermal energy 2010 worldwide review. Geothermics, 40: 159–180.
- POLSKA NORMA: PN-85/C-04601 – Woda do celów energetycznych. Wymagania i badania jakości wody dla kotłów wodnych i zamkniętych obiegów ciepłowniczych.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Zdrowia z dnia 15 kwietnia 2006 r. w sprawie kryteriów oceny właściwości leczniczych wód, wykorzystywanych m.in. w obiektach balneologicznych (Dz. U z 2006 r. Nr 80 poz. 565).
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. z 2007 r. Nr 61 poz. 417 z późn. zm.).
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Zdrowia z dnia 13 kwietnia 2006 r. w sprawie zakresu badań niezbędnych do ustalenia właściwości leczniczych naturalnych surowców leczniczych i właściwości leczniczych klimatu, kryteriów ich oceny oraz wzoru świadectwa potwierdzającego te właściwości (Dz. U. z 2006 r. Nr 80 poz. 565).
- SZCZEPAŃSKA J. & KMIECIK E. 2005 – Ocena stanu chemicznego wód podziemnych w oparciu o wyniki badań monitoringowych. AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo Dydaktyczne, Kraków.
- TOMASZEWSKA B. 2011a – Conception of geothermal water desalination in the context of improvement water balance. Part II – The results of preliminary study. Biul. Państw. Inst. Geol., 445: 693–700.
- TOMASZEWSKA B. 2011b – The use of ultrafiltration and reverse osmosis in the desalination of low mineralized geothermal waters. Arch. Environ. Protect., 37 (3): 63–77.
- TOMASZEWSKA B. 2012 – Efektywność odsalania wód termalnych w zintegrowanym procesie ultrafiltracji i odwróconej osmozy. [W:] Krystyna Konieczny & Irena Korus (red.), Membrany i procesy membranowe w ochronie środowiska. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, 95 (1): 247–255.
- 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., PAJĄK L. & BODZEK M. 2014 – Application of a hybrid UF-RO process to geothermal water desalination. Concentrate disposal and costs analysis. Arch. Environ. Protect., 40 (3): 137–151.
- TOMASZEWSKA B. & SZCZEPAŃSKI A. 2014 – Possibilities for the efficient utilisation of spent geothermal waters. Environ. Sci. Pollut. Res., 21: 11409–11417.