

Julia Cegielska, Karolina Kuzik, Andrzej Żarczyński¹

e-mail: 231347@edu.p.lodz.pl; 211130@edu.p.lodz.pl; andrzej.zarczynski@p.lodz.pl

Institut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

Geotermia jako odnawialne źródło energii – porównanie składów wód geotermalnych z wybranych odwiertów w Polsce (Uniejów, Pырzyce, Mszczonów i Gostynin)

Wstęp do geotermii

Energetyka geotermalna stanowi odnawialne źródło energii, które jest stosowane w mniejszym lub większym stopniu praktycznie na całym świecie. Dowiedzono, że energia pochodząca z wód geotermalnych posiada ogromny potencjał rozwojowy i celowe jest dążenie do jak najszerszego jej wykorzystania. Na tle innych źródeł odnawialnych wyróżnia ją to, że nie jest uzależniona od zmieniających się warunków pogodowych [1-4]. Dodatkowo posiada pewną zdolność magazynowania, co umożliwia współdziałanie z innymi, niedostępnymi w sposób ciągły źródłami odnawialnymi. Pozyskiwanie energii z wód geotermalnych przyczynia się do zahamowania zmian klimatycznych, co stanowi jeden z najważniejszych argumentów do promowania geotermii. Uwagę zwraca także komfort jej użytkowania, nowoczesna infrastruktura oraz konkurencyjność cenowa, zwiększająca jej atrakcyjność i dająca perspektywy dalszego rozwoju [1, 4-7].

Definicja wód geotermalnych

Za wody geotermalne (termalne) są uważane wody podziemne o podwyższonej temperaturze, ogrzewane ciepłem pochodzącym z wnętrza Ziemi. Zgodnie z artykułem 5 ustawy Prawo geologiczne i górnicze z dnia 9 czerwca 2011 r. z późniejszymi zmianami „Wodą termalną jest woda podziemna, która na wypływie z ujęcia ma temperaturę nie mniejszą niż 20°C” [8]. Wody termalne znajdują się pod powierzchnią prawie 80% terytorium Polski, a ich temperatura mieści się w zakresie 20-130°C [1, 2, 6, 7, 9, 10].

Klasyfikacje wód geotermalnych

Wody możemy sklasyfikować ze względu na ich mineralizację, bowiem stopień zmineralizowania wód podziemnych

wyrażany jest poprzez wartość ogólnej mineralizacji, którą określa się na podstawie masy suchej pozostałości.

Rozróżniamy wody [6]:

- słabo zmineralizowane – mineralizacja poniżej 1,0 g/l;
 - mineralne – zakres mineralizacji 1,0-60 g/l;
 - silnie zmineralizowane – zawierające powyżej 60,0 g/l) [6].
- Kolejnym czynnikiem klasyfikacji jest rodzaj związków rozpuszczonych w wodzie [6]:
- wody siarczanowe i siarczkowe – zawierają siarczki lub siarczany sodu i wapnia oraz siarkowodor;
 - szczawy – zawierają ditlenek węgla (pochodzący z wietrzenia skał lub stanowiący pozostałość procesów wulkanicznych), wodorowęglany(IV) wapnia i sodu (szczawa alkaliczna) oraz związki żelaza (szczawa żelazista) – pochodzące z utlenienia minerałów lub rozkładu pirytu;
 - solanki – zawierają sól kamienną w ilości ponad 15 g/l oraz sole magnezu, jodu i bromu;
 - wody radocenne – zawierają niewielkie ilości pierwiastków promieniotwórczych;
 - wody krzemowe – zawierają rozpuszczalne związki krzemu;
 - wody borowe – zawierają co najmniej 5 mg/l kwasu borowego;
 - wody bromkowe – zawierają co najmniej 5 mg/l jonu bromkowego [2, 6, 7, 10].

Występowanie wód geotermalnych w Polsce

Występowanie wód geotermalnych w Polsce jest powiązane z trzema głównymi jednostkami geologicznymi. Jest to platforma paleozoiczna oraz teren Sudetów i Karpat.

Na platformie paleozoicznej wody termalne występują w skałach osadowych paleozoiku (era 538,8-251,9 mln lat temu) i mezozoiku (era 251,9-66,0 mln lat temu) w postaci zbiorników. Wody te pomimo tego, że występują dość

¹ Autor do korespondencji.

głęboko pod powierzchnią ziemi, są zasilane wodami infiltracyjnymi. Odbywa się to zwłaszcza przez strefy brzeżne tych zbiorników, gdzie skały osadowe tworzą wychodnie lub w miejscu stref tektonicznych. Takie wody infiltracyjne przez kontakt z wodami termalnymi ulegają mieszanii się z nimi, mineralizacji oraz ogrzaniu. Są to na ogół wody chlorkowe lub wody wodorowęglanowe (Łódź, Mszczonów i Poddębice) [2, 3, 5, 7, 9, 11-13].

W Sudetach duży wpływ na powstawanie wód termalnych ma tektonika blokowa oraz nieciągłość tektoniczna skał krystalicznych. To właśnie przez nieciągłość tektoniczną w formie spękań skał zachodzi infiltracja wód opadowych w głąb górotworu i ich przepływ pod Ziemią. Dzięki temu ciepło zostaje przeniesione ze skały o wyższej temperaturze do wody, która w ten sposób ogrzewa się. Wody termalne w Sudetach charakteryzują się tym, że występują na różnych głębokościach, w postaci głębokich otworów, ale i źródeł oraz wykazują dość niską mineralizację (0,2-0,6 g/dm³). Wody te są w głównej mierze zaliczane do wód leczniczych, ponieważ zawierają m.in. ditlenek węgla, radon i w podwyższonym stężeniu fluorki, siarczki i kwas metakrzemowy [2, 5, 9, 13].

W Karpatach z kolei wody termalne występują w utworach fliszowych (są to skały, charakteryzujące się cyklicznością – na dole zlepniec, powyżej piaskowiec, następnie mułowiec, a najwyżej iłowiec) oraz w skałach będących ich podłożem. Ze względu na ich dość skomplikowaną budowę – wody w nich występują punktowo, przykładowo w miejscach nieciągłości tektonicznych, np.: Rabka-Zdrój, Poręba Wielka czy Ustroń. Wody z Karpat charakteryzują się dość wysoką mineralizacją (od kilkunastu do 150 g/l), ograniczonymi zasobami i słabą lub zerową odnawialnością [2, 5, 7, 11-14].

Obecnie na terenie Polski funkcjonuje kilka geotermalnych ciepłowni oraz ponad 20 obiektów wykorzystujących wody geotermalne do celów leczniczych i rekreacyjnych. Ciepłowniami geotermalnymi są m.in.: Bańska Niżna (4,5 MJ/s, docelowo 70 MJ/s), Pырzyce (15 MJ/s, docelowo 50 MJ/s), Stargard Szczeciński (14 MJ/s), Mszczonów (7,3 MJ/s), Uniejów (3,2 MJ/s), Lasek (2,6 MJ/s) oraz Klikuszowa (1 MJ/h). W fazie realizacji jest projekt geotermalny w Toruniu. Ponadto w kilku polskich gminach trwają prace koncepcyjne nad utworzeniem zakładów ciepłowniczych i energetycznych [5, 7, 10, 11, 14, 15].

Czynniki decydujące o opłacalności wykorzystania wód geotermalnych

Na ocenę możliwości budowy instalacji geotermalnych wpływają następujące czynniki lokalizacyjne [2, 9]:

- budowa instalacji jest ograniczona do obszarów, gdzie występują wody geotermalne o optymalnych własnościach;
 - energia uzyskana z wód geotermalnych powinna być wykorzystywana w miejscach wydobywania wód oraz w ich pobliżu;
 - szacowane koszty inwestycyjne i eksploatacyjne budowy instalacji geotermalnych.
- Czynniki decydujące o opłacalności wykorzystania wód geotermalnych [2]:
- wydajność eksploatacyjna wód podziemnych (tzw. moc cieplna ujęcia);
 - temperatura wód geotermalnych;
 - głębokość zalegania warstwy wodonośnej, co się przekłada na koszt wykonania odwiertu/ów);
 - skład chemiczny wody i jej mineralizacja (co się przekłada na koszty eksploatacji geotermii);
 - potencjał użytecznych i łatwych do pozyskania zasobów mineralnych zawartych w wodzie geotermalnej [16];
 - koncentracja zapotrzebowania na ciepło na obszarze jego odbioru (wpływa na koszty budowy sieci dystrybucji ciepła);
 - roczny współczynnik obciążenia instalacji – czas wykorzystania pełnej mocy cieplnej ujęcia (jednostkowe koszty produkcji ciepła);
 - konieczny stopień schłodzenia wody geotermalnej;
 - odległość otworów geotermalnych od odbiorcy (nakłady na rurociąg przesyłowy wody geotermalnej) [2, 11, 13, 14].

Eksploracja wód geotermalnych

W zależności od warunków geologicznych, hydrologicznych i termicznych, rozróżniamy eksploatacje wód złożowych: niskotemperaturową, wysokotemperaturową oraz wzbudzaną.

Geotermia płytka (niskotemperaturowa) charakteryzuje się temperaturą od kilkunastu do około 20°C. Wykorzystywane są tutaj wody gruntowe do kilkuset metrów głębokości. Odbiór energii odbywa się przez pompy ciepła – wymienniki ciepła. Ma zastosowanie w ogrzewaniu pojedynczych budynków. Nośnikiem ciepła (czynnikiem obiegowym) jest woda z dodatkiem środka przeciwzamarzającego [10].

Geotermia klasyczna (wysokotemperaturowa) jest oparta na naturalnych systemach geotermalnych. Woda wykorzystywana jest tu bezpośrednio – doprowadzana przez system rur, bądź pośrednio poprzez oddanie ciepła chłodnej wodzie i pozostaje w obiegu zamkniętym. Otwory odwiertów dochodzą do nawet 2500 m głębokości, a temperatura



wody termalnej może osiągać na tyle wysoką wartość, że ciepło odzyskuje się w tradycyjnych wymiennikach bez wspomaganie pompą ciepła. Taka instalacja może służyć do ogrzania większej liczby budynków, osiedli, a nawet dzielnic miast. Dodatkowo przy temperaturach powyżej 100°C (wody gorące, para wodna) znajduje ona też zastosowanie do produkcji energii elektrycznej [10].

W geotermii wzbudzonej odbiór ciepła odbywa się poprzez zatłaczane pod dużym ciśnieniem płyny (woda, solanka, itd.), które cyrkulują przez gorącą strukturę skalną. Znajdują one zastosowanie przy produkcji energii elektrycznej [10].

Cel i zakres pracy

Celem pracy było przedstawienie zarysu specyfiki energetyki geotermalnej, ze szczególnym uwzględnieniem Polski, a także porównanie charakterystyki technologicznej i składu wód geotermalnych z trzech dużych systemów ich eksploatacji w naszym kraju oraz czwartego w perspektywie. Zakres pracy oprócz podkładu literaturowego objął zestawienie wybranych wskaźników fizykochemicznych (Tabela 1) oraz stężeń wybranych kationów i anionów (Tabela 2) z eksploatowanych odwiertów wód geotermalnych w Uniejowie, Pyrzycach i Mszczonowie i potencjalnego w Gostyninie, a także krótkie opisy ważniejszych kierunków praktycznego ich wykorzystania.

Wody termalne Uniejów

Pierwszy otwór dokumentujący złożę wód termalnych – Uniejów IGH-1 – wykonano w 1978 r. Ujęto nim wody geotermalne występujące pod ciśnieniem artezyjskim w poziomie wodonośnym kredy dolnej. Kolejne dwa otwory: PIG/AGH-1 i PIG/AGH-2, stanowiące dublet geotermalny, wykonano na przełomie lat 1990–1991. Funkcję otworu eksploatacyjnego pełni otwór PIG/AGH-2, natomiast PIG/AGH-1 i IGH-1 są otworami chłonnymi [7, 14-19]. Od 2001 r. wody termalne są wykorzystywane przez firmę Geotermia Uniejów Sp. z o.o. do celów ciepłowniczych, a od 2008 r. część wód po odebraniu części ciepła służy do napełniania basenów w ośrodku rekreacyjnym Termy Uniejów [7, 14].

Skład chemiczny

W tabelach 1 i 2 przedstawiono wybrane właściwości i skład chemiczny wody z Uniejowa pobranej z ujęcia PIG/AGH-2, która charakteryzuje się temperaturą 68°C oraz dość niską mineralizacją wynoszącą 8 g/l [13, 16-18]. Jednak woda ta zawiera dość znaczne stężenia jonów sodu – 2300 mg/l oraz chlorków – 3686,8 mg/l, jak również m.in. kationy wapnia w stężeniu – 70,14 mg/l, aniony bromkowe – 1,8

mg/l. Woda ta zawiera również jony jodkowe i fluorkowe o stężeniu poniżej 1 mg/l. Ze względu na relatywnie wysoką zawartość jonów chloru i sodu jest określana jako woda mineralna chlorkowo-sodowa [14, 18, 19].

Praktyczne wykorzystanie wody termalnej z Uniejowa

Jednym z najważniejszych zastosowań wód geotermalnych wydobywanych w Uniejowie jest ogrzewanie tegoż miasta. Woda, po jej wydobyciu jest kierowana do układu filtracyjnego, a następnie przekazywana do zestawu pięciu pomp o łącznej wydajności 120 m³/h. Dalej włącza się ją do wymienników centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej. Zastosowanie wymienników ciepła, jako urządzeń pośredniczących jest spowodowane mineralizacją wody termalnej, która uniemożliwia uczestniczenie jej w obiegu sieciowym centralnego ogrzewania [14, 18]. Kolejnym zastosowaniem uniejowskiej wody termalnej są cele rekreacyjne, tj. Termy Uniejów. Woda ta jest także stosowana w celach uzdrowiskowych i leczniczych, w profilaktyce i leczeniu schorzeń układów: ruchu, mięśniowego, oddechowego, krążenia, nerwowego, pokarmowego, chorób skóry. Wykorzystywana jest do kąpieli, inhalacji i kuracji pitnych. W 2012 r. Uniejów uzyskało status uzdrowiska. Woda z ujęcia PIG/AGH-2 jest także stosowana do ogrzewania gruntu oraz do celów spożywczych. Od 2015 r. jest z niej produkowany „Ogórek termalny z Uniejowa”, którego recepturę opracowano przy współpracy z Instytutem Ogrodnictwa w Skierniewicach. W 2019 r. na rynek weszły kolejne produkty – barszcz z buraków oraz żurek, w skład których również wchodzi woda termalna. Wodą pochodzącą z tego samego ujęcia są ogrzewane murawa boiska piłkarskiego oraz ścieżki spacerowe w parku zamkowym. Część mieszkańców Uniejowa ma możliwość wykorzystania wody termalnej we własnych mieszkaniach, dzięki tzw. trzeciemu kurkowi zainstalowanemu w łazienkach domów i bloków wybudowanych przez spółkę PGK Termy Uniejów [7]. W 2019 r. do sprzedaży trafiła seria soków owocowych z dodatkiem tutejszej wody geotermalnej, a także butelkowana woda gazowana i niegazowana o nazwie „Thermal Uniejów” [5, 14, 17-19].

Wody termalne Pyrzyce

Ciepłownię geotermalną w Pyrzycach rozpoczęto budować w 1992 r. Pomysłodawcą była gmina Pyrzyce, natomiast jego realizacją zajęła się Geotermia Pyrzyce Sp. z o.o. Ciepłownia została uruchomiona w czerwcu 1997 r. jako pierwsza tego typu inwestycja w Polsce, która wykorzystuje ciepło pochodzące z wód termalnych. To bardzo

Tabela 1. Porównanie wybranych wskaźników technologicznych i fizykochemicznych wód geotermalnych z odwiertów w Uniejowie, Pyrzycach, Mszczonowie i Gostyninie

Parametr lub wskaźnik wody odwiertu	Uniejów PIG/AGH-2 [5, 14, 17-19]	Pyrzyce GT-2 [5, 20-23, 27]	Mszczonów IG-1 [14, 24-26, 28]	Gostynin GT-1 [29-32]
Zasoby eksploatacyjne, m ³ /h	120	200 [5]	60	120 [31]
Głębokość otworów geotermalnych pod poziomem terenu, m	2031	1620	1602,5	2734
Temperatura, °C	68	61-63	40,5-42,0	82 [30-32]
Mineralizacja ogólna, g/l	8,0	120 [19]; 121 [14]	0,460 [23, 25]; 0,610 [14]	143,5 [29]; 144,0 [30]
pH	7,20 (22°C)	5,81 [20]	7,60	6,28
Barwa, mg Pt	0	–	0	10,00
Zapach	Bardzo słaby naftowy	akceptowalny	akceptowalny	akceptowalny
Smak	słony	słony	akceptowalny	słony
Mętność, NTU	–	17,0	–	24,10
Przewodność, μS/cm	12 060	172 738	–	–

Tabela 2. Porównanie stężeń wybranych kationów i anionów w wodach geotermalnych z odwiertów w Uniejowie, Pyrzycach, Mszczonowie i Gostyninie

Parametr, mg/l	Uniejów PIG/AGH-2 [12, 14, 17-19]	Pyrzyce GT-2 [14, 20-23, 27]	Mszczonów IG-1 [24-25]	Gostynin GT-1 [14, 29]
Ca ²⁺	70,14	2202,80	60,12	2725,00
Mg ²⁺	25,52	690,46	13,37	656,80
Na ⁺	2300	41 250	29,00	40 243
K ⁺	21,00	205,00	8,00	397,00
Fe ³⁺	0,450	14,97	0,32 [26]	29,25
HCO ₃ ⁻	140,5	216,00	320,95	311,10
SO ₄ ²⁻	5,18	1114	6,78	808,00
Cl ⁻	3686,8	69 488	9,39	69 133
F ⁻	0,65	–	0,19	–
Br ⁻	1,80	101,23	–	–
I ⁻	0,42	4,11	–	0,04



nowoczesny obiekt, który spełnia europejskie standardy dotyczące produkcji energii, a także jej dystrybucji [20-23].

Skład chemiczny

W tabelach 1 i 2 zostały przedstawione wyniki analiz wody pobranej z ujęcia Pырzyce GT-2, która jest wysoko zmineralizowana (~120 g/l), co wynika głównie z obecności chlorku sodowego (NaCl). Zawartość kationów sodowych wynosi 41,25 g/l, a anionów chlorowych 69,49 g/l. Z uwagi na wysokie stężenia jonów chlorkowych i sodowych woda ta jest określana jako chlorkowo-sodowa [19-22]. Cechuje się także obecnością jonów żelaza na drugim stopniu utlenienia o stężeniu 14,97 mg/l, a także jonów jodu w ilości 4,11 mg/l. Ponadto woda ta zawiera znaczące ilości kationów potasowych oraz anionów siarczanowych i bromkowych.

Praktyczne wykorzystanie wody termalnej z Pырzyc

Głównym zastosowaniem wody termalnej z Pырzyc jest pozyskiwanie z niej ciepła, toteż Geotermia Pырzyce Sp. z o.o. funkcjonuje za zasadzie „podwójnego dubletu”. Eksploatacja wód jest prowadzona odwiertami GT-1 i GT-3, natomiast GT-2 i GT-4 służą do zatłaczania wód po odebraniu z nich ciepła. Otwory eksploatacyjne, oddalone od siebie o 1,5 km, mają łączną wydajność 340 m³/h. Wydobywana woda o temperaturze początkowej w zakresie 61-63°C jest kierowana do zespołu filtrów, a następnie do niskotemperaturowych wymienników ciepła. Jeden z nich w sposób bezpośredni przekazuje energię cieplną do wody sieciowej, a drugi współpracuje z absorpcyjnymi pompami ciepła. Takie rozwiązanie pozwala na pozyskiwanie energii cieplnej z wody termalnej nawet w okresie zimowym, kiedy woda systemu centralnego ogrzewania ma temperaturę wyższą niż pozyskiwana woda termalna. Następnie po schłodzeniu woda jest kierowana do odwiertów chłonnych i zatłaczana z powrotem do warstwy wodonośnej. Największym problemem napotkanym podczas eksploatacji tutejszej wody termalnej jest jej wysoka mineralizacja i powstający przy tym efekt kolmatacji [27]. Zjawisko to polega na wytrącaniu się licznych substancji mineralnych w przestrzeniach porowych warstwy wodonośnej i finalnie blokowaniu przepływu wód do odwiertu chłonnego. Z tego powodu w systemie zastosowano specjalną technologię, która polega na ciągłym dozowaniu niewielkich dawek kwasu solnego i dyspersatora. Takie rozwiązanie pozwoliło na uzyskanie pH wody termalnej na poziomie, który zapewniał zaprzestanie krystalizacji węglanu wapnia, będącego przyczyną kolmatacji węglanowej, a także innych związków mineralnych oraz rozpuszczenie ich w warstwie wodonośnej [14, 20-23, 27]. Analizy chemiczne przeprowadzane dla wody geotermal-

nej potwierdziły możliwość wykorzystania pырzyckich wód do celów balneoterapeutycznych oraz rekreacyjnych, ze względu na fakt, że woda ta jest bogata w związki bromu, jodu, żelaza, manganu oraz boru. Obecnie znajduje też zastosowanie w małych tężniach.

Wody termalne Mszczonów

W 1994 r. powstała spółka pod nazwą Geotermia Żyrardowska S.A., której założycielem były władze samorządowe miasta Żyrardowa, ale jej siedziba znajdowała się w Mszczonowie, gdzie wykorzystanie wód geotermalnych cieszyło się dużą popularnością. W wyniku rozwoju przedsięwzięcia rozszerzono działalność spółki i rok później na bazie dotychczasowej firmy utworzono Geotermię Mazowiecką S.A., która funkcjonuje do dnia dzisiejszego. Jej częścią jest Zakład Geotermalny w Mszczonowie. Wydobywana w nim od 2000 r. woda geotermalna wykorzystywana jest do celów ciepłowniczych, rekreacyjnych oraz pitnych. Ciepłownia geotermalna, która jest zlokalizowana w Mszczonowie przy ulicy Sienkiewicza zastąpiła przestarzałe trzy miejskie kotłownie węglowe, które co roku emitowały do atmosfery 15 ton związków azotu, 60 ton związków siarki, 9700 ton ditlenku węgla oraz 145 ton pyłów [14]. Od 2008 r. tutejsze wody geotermalne wykorzystywane są również do celów rekreacyjnych w nowoczesnym aquaparku „Termy Mszczonów”, cieszącym się olbrzymim zainteresowaniem wśród mieszkańców aglomeracji warszawsko-łódzkiej [14, 24-26, 28].

Skład chemiczny

W tabelach 1 i 2 zostały przedstawione wyniki analiz wody geotermalnej z odwiertu Mszczonów IG-1. Całkowita mineralizacja tej wody wynosi około 0,5 g/l. Tak niska jej wartość jest ewenementem w skali europejskiej, ale jest porównywalna z mineralizacją wody w odwiertach Poddębice GT-1 i Tomaszów Mazowiecki GT-1. Przeważają w niej jony wodorowęglanowe, których stężenie jest równe 320,95 mg/l, jony wapnia o stężeniu 60,12 mg/l, a także jony magnezu o stężeniu 13,37 mg/l. Pozostałe główne kationy i aniony to kationy sodu, potasu oraz aniony siarczanowy, chlorkowy i fluorkowy. Ze względu na przewagę jonów wodorowęglanowych, wapnia i sodu, woda ta jest określana jako woda wodorowęglanowo-wapniowo-sodowa [14, 24-26].

Praktyczne wykorzystanie wody termalnej z Mszczonowa

Głównym zastosowaniem mszczonowskiej wody termalnej są cele ciepłownicze i rekreacyjne, a przykładem służy

Zakład Geotermalny w Mszczonowie, który powstał jako trzeci obiekt w Polsce. Woda termalna jest eksploatowana w systemie jednootworowym, z odwiertu Mszczonów IG-1. Temperatura wody na wypływie zawiera się w zakresie 40,5-42°C, stąd jest przekazywana do wymiennika ciepła, który współpracuje z kotłem wysokotemperaturowym, który przejmuje ciepło od spalin i obniża ich temperaturę poniżej 58°C. Następnie woda z wymiennika ciepła trafia do dolnego źródła ciepła absorpcyjnej pompy grzewczej, gdzie w zależności od potrzeby zostaje schłodzona do wartości 20-30°C. Kolejnym krokiem jest przekazanie wody do wentylatorowego schładzacza wody. Tak pozyskane ciepło służy do ogrzania budynków zakładu. Z zasilaniem geotermalnym współdziała dodatkowy system ogrzewania gazowego, który jest stosowany przy znacznym wzroście zapotrzebowania na ciepło. Po wykorzystaniu wody termalnej do celów ciepłowniczych, poddaje się ją schłodzeniu i przekazuje do zakładu stacji uzdatniania wody, gdzie po wymieszaniu z wodą czwartorzędową i uzdatnieniu, w tym odżelazieniu, kieruje się ją do miejskiego systemu wodociągowego [24-26, 28]. Główny Inspektor Sanitarny i Państwowy Zakład Higieny w lipcu 2016 r. potwierdziły, że woda geotermalna z ujęcia w Mszczonowie jest naturalną wodą mineralną, pozbawioną zanieczyszczeń i gotową do butelkowania. Ponadto woda z geotermii w Mszczonowie jest z powodzeniem stosowana w celach rekreacyjnych na terenie kompleksu basenowego „Termy Mszczonowskie” [26].

Wody termalne Gostynin

Ujęcie wody geotermalnej Gostynin GT-1 zostało wykonane w 2007 r. w mieście o tej samej nazwie, znajdującym się w zachodniej części województwa mazowieckiego. Otwór zaprojektowany został w celu ujęcia dolno-jurajskiego horyzontu wodonośnego położonego w interwale głębokościowym 2538,0–2734,0 m. W drugiej połowie XX wieku realizowano także prace wiertnicze, m.in. wykonano odwiert Gostynin IG-3. Badania wykazały, że na tym terenie są korzystne warunki hydrogeotermalne związane głównie ze strefą kontaktu utworów jury środkowej i dolnej [14, 29-32].

Skład chemiczny

W tabelach 1 i 2 zostały przedstawione wyniki analiz wody geotermalnej z odwiertu Gostynin GT-1. Woda ta ma temperaturę 82°C i wydajność na poziomie 120 m³/h, nadającą się m.in. do celów ciepłowniczych i rekreacyjnych. Analiza właściwości fizykochemicznych tej wody wykazała, że posiada ona wysoką mineralizację na poziomie 144 g/l, głównie ze względu na zawarty w niej chlorek sodowy

o stężeniu 109,4 g/l, a więc jest to woda chlorkowo-sodowa. Uwzględniając jej skład można spodziewać się problemów z jej użytkowaniem, podobnie jak to ma miejsce w Pырzycach. Jednak zawartość w niej składników o właściwościach leczniczych wskazuje na możliwość zaliczenia tych wód do tzw. mineralnych swoistych [14, 32].

Praktyczne wykorzystanie wody termalnej z Gostynina

Aktualnie woda z odwiertu GT-1 nie jest wykorzystywana, chociaż władze samorządowe Gostynina opracowały plany powstania Zakładu Geotermalnego oraz Ponadregionalnego Centrum Turystyki, Wypoczynku i Rekreacji. Centrum, jeśli powstanie, to będzie zajmowało się świadczeniem usług medycznych, paramedycznych i rekreacyjnych w postaci kąpieli i inhalacji w leczeniu chorób dróg oddechowych, reumatycznych, ginekologicznych i dermatologicznych [14]. Eksploatacja wód termalnych w Gostyninie odbywać się będzie w systemie dwuotworowym, tzw. dublecie geotermalnym. Planowane są prace geologiczne związane z wykonywaniem otworu geotermalnego Gostynin GT-2, który będzie pełnił rolę otworu zatłaczającego schłodzoną wodę do pokładu wodonośnego [32].

Wnioski

Porównując ze sobą składy chemiczne wód geotermalnych z odwiertów w Uniejowie, Pырzycach, Mszczonowie i Gostyninie widać, że różnią się one stężeniem poszczególnych jonów. Wody z Uniejowa, Pырzyc i Gostynina pomimo tego, że zostały zakwalifikowane jako wody chlorkowo-sodowe, to zdecydowanie różnią się zawartością tych jonów. Woda pozyskana z odwiertu w Pырzycach czy Gostyninie zawiera znacznie większe stężenia zarówno jonów Na⁺, jak i jonów Cl⁻ niż woda z odwiertu w Uniejowie [21]. Z kolei woda z Mszczonowa, określana jako woda wodorowęglanowo – wapniowo – sodowa, zawiera w swoim składzie przykładowo jedynie 29 mg/l jonów Na⁺. W klasyfikacji wód uwzględnia się jony o najwyższych stężeniach. Dlatego też pomimo, że woda z Pырzyc czy Gostynina zawiera więcej jonów Ca²⁺ niż woda z Mszczonowa, to nie jest określana mianem wody wapniowej [25, 26, 29].

Stosowanie energii geotermalnej ma duże znaczenie w ochronie środowiska. Jest to spowodowane tym, że ciepło pozyskiwane z wnętrza Ziemi jest energią odnawialną, która w znacznym stopniu minimalizuje zanieczyszczenia emitowane do atmosfery wydzielane za pośrednictwem klasycznych elektrowni węglowych. Na przykładzie ciepłowni geotermalnej w Mszczonowie można stwierdzić, że zastępując trzy miejskie kotłownie węglowe, wyeliminowała ona całkowicie emisję pyłów, sadzy oraz związków siarki



pochodzących z tych kotłowni (masy zredukowanych emisji zanieczyszczeń podano wyżej). Z kolei emisja związków azotu spadła do poziomu 18%, tlenku węgla do 2%, a ditlenku węgla do 25% [14].

Polska ma duże potencjalne możliwości pozyskiwania i wykorzystania energii geotermalnej, a rozwój tej gałęzi energetyki odnawialnej jest popularny w naszym kraju. Jednak z udokumentowanych obecnie parametrów wody termalnej na Niżu Polskim wynika, że najwyższą temperaturę wody termalnej na poziomie 87°C uzyskano w odwiercie Stargard Szczeciński, a znaczną wysokość 82°C odnotowano w otworze Gostynin GT-1 [31, 32]. Te i nawet o 30-40°C niższe temperatury wody termalnej są wystarczające dla ciepłownictwa i rekreacji. Jednak są one zbyt niskie, aby można było taką wodę wykorzystać do wysoce efektywnej produkcji energii elektrycznej. Wodę o takiej temperaturze można stosować do produkcji energii elektrycznej w systemach hybrydowych, gdzie woda termalna będzie użyta w pierwszym stopniu podgrzewania czynnika niskowrzącego.

Literatura

- [1] M. Hajto, 2021, Stan wykorzystania energii geotermalnej w Europie i na świecie w 2020 r., *Przegląd Geologiczny*, 69(9), 566-577.
- [2] Górecki W. Wody geotermalne Polski, https://www.pgi.gov.pl/images/stories/artykuly/geotermia_nizu_2/hydro_wojciech_gorecki.pdf, 25.06.2022.
- [3] Żylicz T., 2017, *Geotermia, Aura*, 10, 20-21.
- [4] Góralczyk I., Tytko R., Milek M., Walka ze smogiem – ogrzewanie wodami geotermalnymi, *Aura*, 4, 5-8.
- [5] Kępińska B., 2021, Wykorzystanie energii geotermalnej w Polsce w latach 2019-2021, *Przegląd Geologiczny*, 69(9), 559-565.
- [6] Platforma Edukacyjna Ministerstwa Edukacji i Nauki, Występowanie i rodzaje wód termalnych i mineralnych w Polsce, [file:///C:/Users/admin/Downloads/Występowanie_i_rodzaje_wod_terma.pdf](file:///C:/Users/admin/Downloads/Wystepowanie_i_rodzaje_wod_terma.pdf), 25.06.2022.
- [7] Felter A., Filippovits E., Gryszkiewicz I., Lasek-Woroszkiwicz D., Skrzypczyk L., Socha M., Sokołowski J., Sosnowska M., Stożek J., Wrzosek A., 2021, Mapa zagospodarowania wód podziemnych zaliczonych do kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2019 r., Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB), Warszawa.
- [8] Prawo geologiczne i górnicze z dnia 9 czerwca 2011 r. (Dz.U. 2011, nr 163, poz. 981; tekst jednolity Dz.U. 2022, poz. 1072).
- [9] Porwisz B., 2013, Szlakiem wód leczniczych i termalnych w Małopolsce, Departament Środowiska Urzędu Marszałkowskiego Województwa Małopolskiego, Zespół Geologii, Kraków.
- [10] Portal PIG-PIB, Geotermia, <https://www.pgi.gov.pl/wody-mineralne/przydatne/geotermia.html>, 19.08.2022.
- [11] Portal Polskiej Geotermalnej Asocjacji im. prof. Juliana Sokołowskiego (PGA), Geotermia w Polsce, <http://www.pga.org.pl/geotermia-zasoby-polskie.html>, 26.06.2022.
- [12] Latour T., Drobniak M., 2016, Właściwości biochemiczne wód geotermalnych rozpoznanych w Polsce określające sposób ich wykorzystania do celów leczniczych lub rekreacji, *Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównoważony Rozwój*, 1, 67-74.
- [13] Portal PIG-PIB, Wody termalne. Wody termalne na platformie paleozoicznej, <https://www.pgi.gov.pl/wody-mineralne/przydatne/wody-termalne.html#wody-termalne-na-platformie-paleozoicznej>, 19.08.2022.
- [14] Igliński B., Buczkowski R., Cichosz M., Piechota G., 2010, *Technologie geoenergetyczne – monografia*, Wyd. Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń.
- [15] Sowizdzał A., 2018, Geothermal energy resources in Poland – Overview of the current state of knowledge. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(2), 4020-4027.
- [16] Sapińska-Śliwa A., Dudek M., Wiśniowski R., Jaszczur M., Śliwa T., 2016, Pozyskiwanie surowców mineralnych z wód termalnych w Polsce, *Przemysł Chemiczny*, 95(8), 1524-1528.
- [17] Sapińska-Śliwa A., Kurpik J., 2011, Aktualne zagospodarowanie wody i ciepła geotermalnego w Uniejowie, *Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia, Zrównoważony Rozwój*, 1-2, 225-235.
- [18] Portal Geotermia Uniejów im. Stanisława Olasa, Pochodzenie i skład, <http://geotermia-uniejow.pl/woda-geotermalna/sklad-i-wlasciwosci>, 02.08.2022.
- [19] Latour T., Smętkiewicz K., 2012, Właściwości fizykochemiczne i chemiczne wód geotermalnych i ich zastosowanie lecznicze ze szczególnym uwzględnieniem wody z odwiertu PIG/AGH-2 w Uniejowie, *Biuletyn Uniejowski*, 1, 79-93.
- [20] Zięba Z., Grzesiak E., 2010, Wpływ składu chemicznego wody geotermalnej na koszty eksploatacji systemu ciepłowniczego w Pyrzycach, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 8(1), 39-45.
- [21] Wachowicz-Pyzik A., Mazurkiewicz J., 2015, Charakterystyka hydrogeochemiczna wód termalnych geotermii Pyrzyce, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2, 52-55.
- [22] Chmurzyńska A., 2018, Geotermia Pyrzyce – druga najstarsza ciepłownia geotermalna w Polsce! <https://globenergia.pl/geotermia-pyrzyce-druga-najstarsza-cieplownia-geotermalna-w-polsce/>, 26.06.2022.
- [23] Kulik S., 2007, Ciepłowniczy zakład geotermalny w Pyrzycach: doświadczenia, wybrane aspekty pracy, perspektywy, *Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównoważony Rozwój*, 240, 63-67.
- [24] Szymańska M., Nowakowski W., Czarnowska K., 2005, Wykorzystanie energii geotermalnej w rejonie Mszczonowa, *Aura*, 7, 14-16.
- [25] Portal Termy Mszczonów, Woda termalna, <https://www.termy-mszczonow.eu/305,woda-termalna>, 26.06.2022.
- [26] Tomaszewska B., Bujakowski W., Tyszer M., 2016, Innowacyjne badania nad wykorzystaniem swoistych cech wód termalnych Mszczonowa w produkcji wód mineralnych, *Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównoważony Rozwój*, 1, 103-110.
- [27] Noga B., Kosma Z., Zieliński J., 2018, Analiza możliwości zwiększania chłonności otworów zatłaczających na przykładzie ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach, *Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównoważony Rozwój*, 57(2), 135-154.
- [28] Portal polskie i norweskie gminy razem dla klimatu i energii, Ciepłownia Geotermalna w Mszczonowie, <http://www.razemdla->

klimatu.eu/images/dobre_praktyki/Mszczonow.pdf, 02.08.2022.

[29] Bujakowski F., Wierzbicki G., 2011, Zastosowania teorii SIT w numerycznej ocenie tendencji do wytrącania stałych faz mineralnych z roztworu geotermalnego na przykładzie danych z otworu Gostynin GT-1, Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównoważony Rozwój, 1-2, 387-401.

[30] Portal Vademecum dla uczniów technikum, Charakterystyka źródeł geotermalnych, <https://instsani.pl/technik-urzaden-i-systemow-energetyki-odnawialnej/vademecum-energetyki-odnawialnej/energia-geotermalna/charakterystyka-zrodel-geotermalnych/>, 05.08.2022.

[31] Śliwa T., Sapińska-Śliwa A., Gonet A., Kowalski T., Sojczyńska A., 2021, Geothermal Boreholes in Poland—Overview of the Current State of Knowledge, Energies, 14, 3251. <https://doi.org/10.3390/en14113251>, 05.08.2022.

[32] Noga B., Kosma Z., Biernat H., 2011, Przegląd obecnie realizowanych projektów wykorzystania wód termalnych i energii geotermalnej na Niżu Polskim, Logistyka, 6, 3079-3088. ●

Zuzanna Pietrzak*, **Bartosz Karbowy***, **Andrzej Żarczyński¹**

e-mail: z.pawelczyk98@wp.pl; superszostka@gmail.com; andrzej.zarczynski@p.lodz.pl;

Institut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

* Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Łódzki

Metody unieszkodliwiania i zagospodarowania osadów ściekowych stosowane w Polsce

Wprowadzenie

Osady ściekowe są wyodrębniane ze ścieków podczas ich oczyszczania i stanowią niewielki procent wszystkich odpadów wytwarzanych w polskiej gospodarce, jednak z uwagi na swoje właściwości wymagają odpowiedniego zagospodarowania. Ilość generowanych osadów wynosi jedynie 1-3% objętości oczyszczanych ścieków, mimo to mogą one stanowić potencjalne zagrożenie dla środowiska naturalnego i zdrowia ludzi, zwłaszcza przy niewłaściwym ich zagospodarowaniu, bowiem zawierają m.in. metale ciężkie, a także są siedliskiem wielu mikroorganizmów chorobotwórczych, pasożytów, a także różnych form przetrwalnikowych [1-3]. Ilość wytwarzanych osadów ściekowych w Polsce w ostatnich dwóch dekadach praktycznie nie maleje [4]. Przyczyną może być dość intensywna rozbudowa sieci kanalizacyjnych, modernizacja istniejących już oczyszczalni ścieków komunalnych i miejskich w celu przystosowania ich do technologii wysokosprawnych, nastawionych na usuwanie związków biogenych, jak również budowa nowych oczyszczalni ścieków. Z uwagi na te zagrożenia oraz na właściwości fizykochemiczne, osady muszą być poddawane odpowiedniej i skutecznej przeróbce, a następnie właściwie zagospodarowane. Z tego też względu gospodarka osadami jest niezwykle ważna, bowiem osady po przetworzeniu w oczyszczalniach powinny w miarę możliwości powracać do środowiska naturalnego [3, 5-8].

Według danych Głównego Urzędu Statystycznego w okresie ostatnich dwudziestu lat liczba oczyszczalni ścieków przemysłowych znacznie zmniejszyła się, tj. z 1626 w 2000 r. do 876 w 2020 r. Część z nich została zlikwidowana wraz z zamknięciem zakładów przemysłowych lub zreorganizowana na skutek uruchomienia podczyszczalni ścieków przemysłowych. W obecnie powstających podczyszczalniach ścieków przemysłowych uzyskuje się ścieki ze wstępnie obniżonym ładunkiem zanieczyszczeń w stopniu, który umożliwia odprowadzenie ich do oczyszczalni ścieków komunalnych lub oczyszczalni ścieków zakładowych [4].

Liczba oczyszczalni ścieków komunalnych w latach 2000-2020 wzrosła z 2417 w 2000 r. do 3281 w 2020 r. W 2020 r. wśród oczyszczalni przemysłowych dominowały oczyszczalnie biologiczne (60%) i mechaniczne (24%). Natomiast najwięcej oczyszczalni komunalnych wykorzystywało biologiczne metody oczyszczania ścieków (75%), w tym umożliwiające podwyższone usuwanie biogenów (25%) [4].

Źródła i masy osadów ściekowych powstających w Polsce

W tabeli 1 przedstawiono wybrane dane Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) dotyczące sumarycznych mas osadów ściekowych, pochodzących z komunalnych i przemysłowych oczyszczalni ścieków w Polsce, w okresie lat 2000–2020 [4]. Po osiągnięciu w 2005 r. maksymalnej ilości 1124,4 tys. ton s.m. (ton suchej masy) wytworzonych osadów ściekowych i minimalnej 895,1 tys. ton s.m. w 2010 r.,

¹ Autor do korespondencji.

