

Anna DRABIK  
Anna SOWIŹDŹAŁ  
Barbara TOMASZEWSKA  
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza  
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska  
Katedra Surowców Energetycznych  
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków  
e-mail: anna7drabik@gmail.com, ansow@agh.edu.pl,  
bts@agh.edu.pl

Technika Poszukiwań Geologicznych  
Geotermia, Zrównoważony Rozwój nr 1/2016

## DOŚWIADCZENIA ISLANDII W ZAKRESIE WYKORZYSTANIA NISKOTEMPERATUROWYCH ZASOBÓW ENERGII GEOTERMALNEJ

### STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono islandzkie doświadczenia w zakresie wykorzystywania niskotemperaturowych zasobów energii geotermalnej do różnych celów: ciepłowniczych, rekreacyjnych, hodowli i suszenia ryb, ogrzewania szklarni, a także odładzania dróg i chodników. Niskotemperaturowe zasoby geotermalne występują praktycznie na terenie całej Islandii, jednak największe zasoby tego typu związane są z południowo-zachodnią częścią kraju. Doświadczenia islandzkie w zakresie wykorzystania zasobów niskotemperaturowych są szczególnie interesujące w kontekście efektywnego zagospodarowywania polskich zasobów geotermalnych. Artykuł powstał jako jeden z rezultatów współpracy pracowników i studentów w roku 2016 w Keilir Institute of Technology (Reykjavik, Islandia) w ramach programu stypendialnego FSS (*Scholarship and Training Fund Mobility Projects in Higher Education*).

### SŁOWA KLUCZOWE

Energia geotermalna, zasoby niskotemperaturowe, Islandia

\* \* \*

### WPROWADZENIE

Islandia – dzięki swojemu usytuowaniu na kuli ziemskiej – jest niezwykle zasobna w energię geotermalną, która stanowi ważne z gospodarczego i ekonomicznego punktu widzenia źródło energii dla kraju. Energia wód i par geotermalnych pokrywa 66% (czyli ok. 135 PJ) zapotrzebowania na energię pierwotną dla całej populacji, liczącej blisko 320 000 osób (Axelsson i in. 2010). W dużej mierze wykorzystywana jest w celach ciepłowniczych

oraz do produkcji energii elektrycznej. Ponadto znajduje szerokie zastosowanie w sektorach: przemysłowym, rolniczym oraz rekreacyjnym. Aktualnie na terenie Islandii pracują 62 miejskie sieci ciepłownicze wykorzystujące energię zasobów geotermalnych, z czego 54 bazują na energii zgromadzonej w niskotemperaturowych obszarach kraju (Axelsson i in. 2010). Jako światowy lider w użyciu energii geotermalnej, Islandia skupia się głównie na zagospodarowaniu zasobów hydrogeotermalnych zarówno nisko- jak i wysokotemperaturowych. W początkowych fazach realizacji są również projekty mające na celu wykorzystanie potencjału gorących suchych skał (zasoby petrotermalne).

Pod pojęciem niskotemperaturowych zasobów geotermalnych rozumie się złoża, których temperatura na głębokości 1 km jest niższa od 150°C. Zlokalizowane są one głównie poza strefami aktywności wulkanicznej (Axelsson i in. 2010). W przypadku Islandii źródła niskotemperaturowej aktywności geotermalnej dyskutowane są od kilku dekad między innymi przez Einarsson (1942), Árnason (1976), Bödvarsson (1983), Björnsson i in. (1990), Arnórsson (1995), Tomasson i Arason (2000), Arnórsson i in. (2008), Axelsson i in. (2010).

Od wielu lat Katedra Surowców Energetycznych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie prowadzi współpracę z ośrodkami badawczymi i naukowymi z Islandii. Od roku 2013 realizowany jest program FSS (Fundusz Stypendialny i Szkoleniowy – *Scholarship and Training Fund Mobility Projects in Higher Education*) finansowany ze środków norweskich, umożliwiający wymianę pracowniczą i studencką z Keilir Institute of Technology. W roku 2016 dwoje studentów specjalności odnawialne źródła energii Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH realizowało semestr dyplomowy w Keilir Institute of Technology w Reykjanesbær pracując nad projektem *Feasibility study of Enhanced Geothermal Systems (EGS) in low-temperature areas of Iceland with Hot Dry Rock (HDR)*. W ramach projektu wykonano studium przypadku wykorzystania zasobów niskotemperaturowych dla miejscowości Holmavik położonej na terenie Fiordów Zachodnich (północno-zachodnia Islandia) przy zastosowaniu wspomaganych systemów geotermalnych (EGS – *Enhanced Geothermal System*).

## 1. ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ ISLANDII

Islandia położona jest na Grzbiecie Śród atlantyckim, który stanowi granicę pomiędzy płytami tektonicznymi: Północnoamerykańską (na zachodzie) i Euroazjatycką (na wschodzie) (rys. 1). Płyty rozsuwają się w tempie 2 cm na rok w kierunkach 105°E i 285°W, tworząc tym samym jedyny widoczny na powierzchni przykład granicy dywergentnej (Thordarsson 2012). Najlepszym miejscem do zaobserwowania wspomnianego zjawiska może być Park Narodowy Þingvellir lub Półwysep Reykjanes.

Pod względem geologicznym Islandia jest najmłodszym obszarem kontynentu europejskiego. Pojawiła się na powierzchni oceanu Atlantyckiego około 25 milionów lat temu. Gdyby wiek naszej planety (4,5 miliarda lat) odnieść do jednego roku, to Islandia istniałaby zaledwie dwa dni, pięć godzin temu wystąpiłoby pierwsze zlodowacenie, a minutę temu



Rys. 1. Granica płyt tektonicznych – most między kontynentami na Półwyspie Reykjanes (fot. Anna Drabik)

Fig. 1. The boundary of tectonic plates – bridge between continents, Reykjanes Peninsula (photo: Anna Drabik)

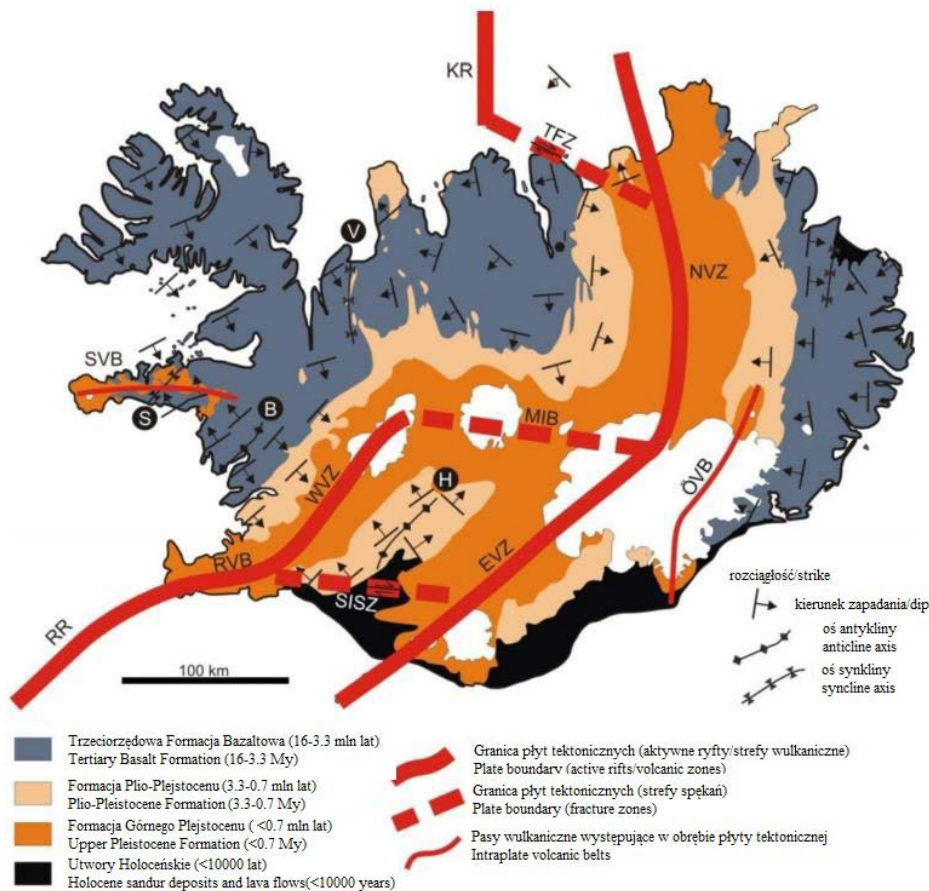
ustąpiłoby rozpoczynając cieplejszą i jednocześnie najmłodszą epokę – Holocen (Thordarson, 2012). Nie bez przyczyny kraj ten często nazywany jest geologicznym niemowlęciem i ciągle pozostaje w kręgu zainteresowań geologów i wulkanologów z całego świata.

Islandię budują utwory skalne trzeciorzędu i czwartorzędu, pośród których wydziela się cztery grupy, serie stratygraficzne (rys. 2) (Saemundsson 1979):

- Trzeciorzędowa Formacja Bazaltowa,
- Formacja Plio-Plejstocenu,
- Formacja Górnego Plejstocenu,
- Holocen.

## 2. OBSZARY GEOTERMALNE NA ISLANDII

Islandia jest jednym z najbardziej aktywnych tektonicznie miejsc na Ziemi. Znajduje się tutaj ponad 200 wulkanów rozciągających się z południowego zachodu na północny wschód kraju (główne strefy wulkaniczne), z których co najmniej 30 stanowią wulkany aktywne. Bezpośrednio z centralnymi systemami wulkanicznymi powiązane są wysokotemperaturowe obszary geotermalne, gdzie średnia temperatura na głębokości 1000 m sięga ponad 200°C (rys. 3). Na obszarach okalających główne strefy wulkaniczne wyznaczono co najmniej 250 niskotemperaturowych obszarów geotermalnych, gdzie temperatura na głębokości 1000 m nie przekracza 150°C (rys. 3). Ponadto na terenie kraju zlokalizowano dotychczas ponad 600 gorących źródeł (o temperaturze powyżej 20°C). Gradient geotermalny na terenie Islandii



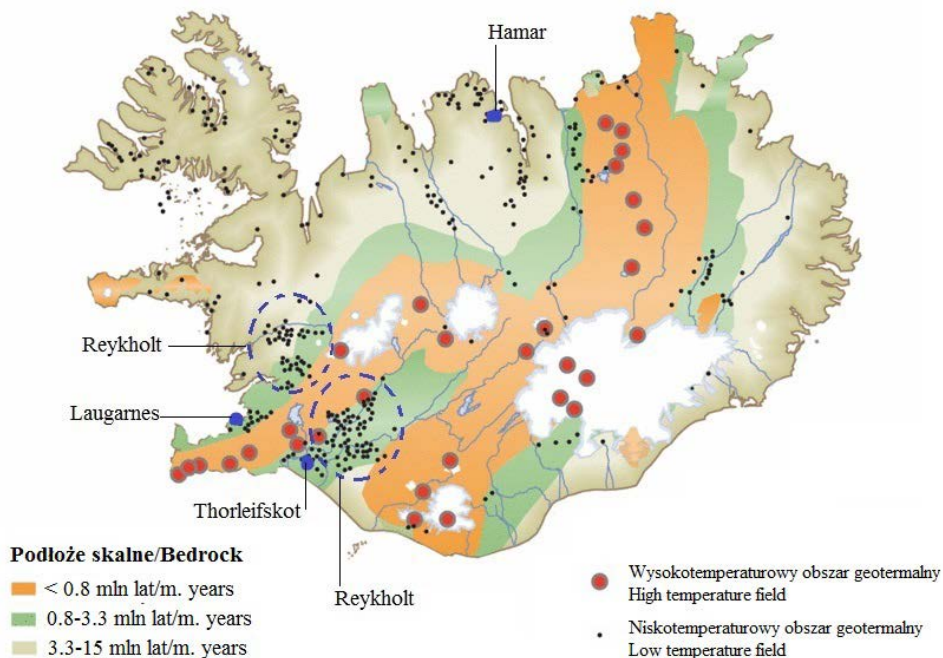
Rys. 2. Główne elementy budowy geologicznej Islandii z uwzględnionymi strukturami uskokowymi oraz strefami wulkanicznymi (Thordarsson 2012)

RR – Grzbiet Reykjanes; RVB – Pas wulkaniczny Reykjanes; WVZ – Zachodnia strefa wulkaniczna; MIB – Pas Śródislandzki; SISZ – Strefa sejsmiczna południowej Islandii; EVZ – Wschodnia strefa wulkaniczna; NVZ – Północna strefa wulkaniczna; KR – Grzbiet Kolbeinsey; ÖVB – Pas wulkaniczny Öraefi; SVB – Pas wulkaniczny Snæfellsnes. Litery umieszczone w czarnych kółkach wskazują osie antyklin i synklin: B and H – antykliny Borgarfjörður i Hreppar; S and V – synkliny Snæfellsnes i Viðidalur

Fig. 2. The principal elements of the geology of Iceland, outlining the distribution of the major geological subdivisions, including the main fault structures and volcanic zones and belts (Thordarsson 2012)

RR – Reykjanes Ridge; RVB – Reykjanes Volcanic Belt; WVZ – West Volcanic Zone; MIB – Mid-Iceland Belt; SISZ – South Iceland Seismic Zone; EVZ – East Volcanic Zone; NVZ – North Volcanic Zone; KR – Kolbeinsey Ridge; ÖVB – Öraefi Volcanic Belt; SVB – Snæfellsnes Volcanic Belt. Letters enclosed by filled black circles indicate axes of anticlines and synclines: B and H – Borgarfjörður and Hreppar anticlines; S and V – Snæfellsnes and Viðidalur synclines

zmienia się w zakresie od 50°C/km do 150°C/km dla obszarów poza strefą wulkaniczną, natomiast w obszarze aktywności wulkanicznej jest znacząco wyższy. Najwyższa odnotowana temperatura wynosi 386°C na głębokości 1000 m (Kranz 2006; Orkustofnun 2011).



Rys. 3. Lokalizacja obszarów geotermalnych Islandii (Kranz 2006)

Fig. 3. Location of the conventional geothermal areas in Iceland (Kranz 2006)

### 2.1. Wysokotemperaturowe obszary geotermalne

Wysokotemperaturowe obszary geotermalne Islandii są bezpośrednio połączone z centralnymi strefami wulkanicznymi i terenami do nich przylegającymi. Istnieje co najmniej 28 obszarów wysokotemperaturowych, m.in. Półwysep Reykjanes, Krisuvik, Hengill, Torfajökul, Grimsvötn, Namaskarð i Krafla (Ryc. 3). Obszary te charakteryzuje bardzo szeroka gama geotermalnej aktywności powierzchniowej: fumarole, solfatary, gorące źródła, gejzery oraz charakterystyczny zapach siarkowodoru. Generalnie główne źródło ciepła stanowią płytkie intruzje magmowe tworzące komory, kiedy system jest połączony z wulkanem centralnym lub sieć dajek w większej odległości od wulkanu. Skały wspomnianego terenu są geologicznie bardzo młode i przepuszczalne, a sam obszar z reguły zlokalizowany na wzniesieniu, co powoduje, że warstwa wodonośna znajduje się dość głęboko (1–3 km). Woda krążąca pośród skał jest wodą opadową, wyjątkiem są trzy obszary geotermalne na Półwyspie Reykjanes, gdzie woda częściowo lub w całości pochodzi z oceanu. Podczas ogrzewania pod powierzchnią ziemi woda rozpuszcza zróżnicowane minerały i gazy, co powoduje ograniczenia w bezpośrednim wykorzystaniu z uwagi na występującą tendencję do korozji i/lub scalingu instalacji powierzchniowej. Niemniej jednak, dzięki wysokiemu ci-

śnieniu oraz temperaturze, jest wykorzystywana do przygotowania ciepłej wody użytkowej, w ciepłownictwie i generacji energii elektrycznej (Orkustofnun 2011; Kranz 2006).

## **2.2. Niskotemperaturowe obszary geotermalne**

Niskotemperaturowe obszary geotermalne można znaleźć praktycznie na terenie całego kraju, szczególnie w sąsiedztwie aktywnych stref wulkanicznych (rys. 3). Największe pola niskotemperaturowe skupione są w południowo-zachodniej części kraju, w okolicach miejscowości Reykholt k/Kalmanstunga oraz Reykholt k/Skálholt. Woda krążąca w systemie geotermalnym jest wodą opadową, natomiast jako główne źródło ciepła rozważa się bardzo gorącą skorupę ziemską. Oczywiście nie można pomijać występującej tutaj sieci uskoku i spękań powstałych na skutek tektonicznej aktywności rejonu, odgrywających znaczącą rolę w cyrkulacji medium. Z racji niższej temperatury (<150°C) stężenie rozpuszczonych w wodzie minerałów i gazów jest mniejsze niż w przypadku obszarów wysokotemperaturowych i woda może być zagospodarowana w sposób bezpośredni (Kranz 2006; Tómasson i in. 2000; Axelsson i in. 2010).

## **3. SPOSOBY WYKORZYSTANIA NISKOTEMPERATUROWYCH ZASOBÓW GEOTERMALNYCH NA ISLANDII**

### **3.1. Ogrzewanie pomieszczeń**

Eksploatacja niskotemperaturowych zasobów wód geotermalnych, mające na celu ogrzewanie budynków mieszkalnych, zostało po raz pierwszy zaimplementowane w 1907 roku (indywidualny budynek mieszkalny) (Axelsson i in. 2010). Wykorzystanie wód geotermalnych na większą skalę zaczęło rozwijać się dopiero po 1930 roku, kiedy wykonano najstarszą na Islandii instalację Laugarnes w Reykjavíku. Przez ostatnie 60 lat odnotowano znaczący wzrost wykorzystania energii geotermalnej na cele ogrzewania budynków. Aktualnie około 90% budynków w kraju korzysta z ciepła pozyskiwanego z geotermii niskotemperaturowej. Poniżej przedstawiono kilka przykładów instalacji wykorzystujących niskotemperaturowe zasoby energii geotermalnej (Kranz 2006; Ragnarsson 2015).

#### **Laugarnes w Reykjavíku**

Laugarnes jest zlokalizowane blisko centrum Reykjavíku, około 20 km w kierunku północno-zachodnim od strefy aktywnego ryftu. Jest to jeden z większych, o ile nie największy system wykorzystujący niskotemperaturowe zasoby geotermalne. Eksploatacja na cele ogrzewania miejskiego rozpoczęła się w 1930 roku, za pomocą kilku odwiertów, z których najgłębszy sięgał 246 m. Blisko 30 lat później wywiercono kolejne otwory. Aktualnie eksploatowanych jest tutaj 10 otworów produkcyjnych, z których najgłębszy sięga 2700 m.

Temperatura zbiornika wynosi 120–140°C, a wydajność całego systemu to 150 l/s (Axelsson i in. 2010).

#### **Hamar koło Dalviku**

Instalacja Hamar znajduje się w zachodniej części fiordu Eyjafjörður, w północno-centralnej Islandii. Jest to bardzo mały system, należący do aktywnej tektonicznie okolicy Dalviku. Eksploatacja na cele ciepłownicze rozpoczęła się w 1969 roku i jest realizowana z wykorzystaniem dwóch otworów produkcyjnych z warstwy wodonośnej zalegającej na głębokości od 500 do 800 m p.p.t. Temperatura zbiornika osiąga 65°C, a średnia roczna wydajność wynosi 40 l/s (Axelsson i in. 2010).

#### **Thorleifskot koło Selfoss**

Niskotemperaturowy system geotermalny Thorleifskot jest zlokalizowany na południu Islandii, na przedmieściach Selfoss. Utylizacja systemu ma na celu zapewnienie ciepła dla rejonu Árborg, który obejmuje trzy miasta: Selfoss, Eyrarbakki, Stokkseyri oraz sąsiednie obszary wiejskie. System jest eksploatowany od 1948 roku, a średnia roczna produkcja wynosi 70–80 l/s. Temperatura zbiornika jest bardzo zmienna (ze względu na ciągły dopływ zimnej wody) i waha się od 60°C do 120°C (Axelsson i in. 2010).

### **3.2. Utrzymywanie dobrego stanu dróg i chodników zimą**

W okresie zimowym w terenach zurbanizowanych (np. Reykjavik) można zobaczyć chodniki oraz jezdnie bez pokrywy śnieżnej i lodu. Wszystko to dzięki bardzo praktycznemu, a jednocześnie ciekawemu rozwiązaniu, które wykorzystuje gorącą wodę do roztopiania i usuwania pokrywy śnieżnej. Pod powierzchnią gruntu umieszczony jest specjalny system rur, który wypełnia mieszanka w 66% woda o temperaturze 35°C (woda odpadowa z ogrzewania miejskiego) oraz w 34% woda geotermalna o temperaturze 80°C. Łącznie na terenie kraju powierzchnia zainstalowanych systemów do roztopiania pokrywy śnieżnej wynosi 840 000 m<sup>2</sup> (Ragnarsson 2015).

### **3.3. Rekreacja**

Kolejnym sposobem utylizacji energii geotermalnej jest wykorzystanie jej na potrzeby wysoko rozwiniętej sieci basenów. Aktualnie ponad 80% basenów jest ogrzewanych za pomocą geotermii, co daje łączne zużycie wody w skali roku na poziomie 6 500 000 m<sup>3</sup> (Kranz 2006).

### **3.4. Szklarnie**

Jednym z ważniejszych i mocno wpisanych w kulturę kraju zastosowań energii geotermalnej jest ogrzewanie szklarni, w których uprawiane są w około 55% warzywa i w około

45% kwiaty. Całkowita powierzchnia szklarni na terenie Islandii wynosi blisko 200 000 m<sup>2</sup>. Jednocześnie od czasów historycznych – w celu uzyskania obfitych plonów – wykorzystuje się naturalne ciepło gruntu na obszarach niskotemperaturowych. Szacuje się, że w ten sposób zagospodarowana jest powierzchnia około 105 000 m<sup>2</sup> (Kranz 2006; Orkustofnun 2011).

### 3.5. Hodowla i suszenie ryb

Ze względu na niestabilne warunki pogodowe coraz częściej suszenie ryb odbywa się wewnątrz budynku, przy czym wykorzystuje się wody geotermalne o temperaturze około 100°C. Woda geotermalna o temperaturze z zakresu 20–50°C jest również używana do ogrzania wody w wylęgarniach ryb (Kranz 2006; Orkustofnun 2011).

## 4. PROJEKT WYKORZYSTANIA NISKOTEMPERATUROWYCH ZASOBÓW GEOTERMALNYCH W MIEJSCOWOŚCI HOLMAVIK

Projekt *Feasibility study of Enhanced Geothermal Systems (EGS) in low-temperature areas of Iceland with Hot Dry Rock (HDR)* został zrealizowany przez dwójkę studentów Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH we współpracy ze studentem i pracownikami Keilir Institute of Technology (Islandia). Główny cel projektu stanowiło określenie możliwości wykorzystania energii suchych gorących skał (HDR) do stworzenia lokalnej sieci ciepłowniczej dla miejscowości Holmavik (niskotemperaturowy obszar geotermalny w północno-zachodniej części kraju). Rozważono przede wszystkim warunki geologiczne i środowiskowe, nie zapominając jednocześnie o aspekcie ekonomicznym prawdopodobnej inwestycji. Prace rozpoczęto od rozpoznania geologii regionalnej Fiordów Zachodnich ze szczególnym uwzględnieniem rejonu miasta Holmavik. Następnie skupiono się na wyznaczeniu adekwatnej lokalizacji ewentualnego systemu EGS oraz określeniu parametrów zbiornika ciepła. Wstępne wyniki projektu pokazały, że z geologicznego punktu widzenia Islandia posiada bardzo duży potencjał oraz możliwość implementacji wspomaganych systemów geotermalnych (EGS) w obrębie niskotemperaturowych obszarów geotermalnych. Jednak z ekonomicznego punktu widzenia jest to inwestycja nieopłacalna, szczególnie dla tak małej miejscowości jak Holmavik (341 mieszkańców). Przeprowadzenie inwestycji byłoby uzasadnione ekonomicznie tylko w przypadku obniżenia kosztów udostępniania zasobów energii zgromadzonej w formacjach HDR lub wzrostu cen energii elektrycznej na terenie kraju, która w dużej mierze stanowi źródło wykorzystywane do ogrzewania budynków mieszkalnych oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej. Szczegółowe przedstawienie projektu oraz uzyskanych wyników będzie przedmiotem odrębnego opracowania. Warto podkreślić, że realizowany projekt był dla studentów okazją do poszerzenia wiedzy w zakresie możliwości wykorzystania niskotemperaturowych zasobów geotermalnych. Jednocześnie umożliwił im rozpoznanie charakterystyki systemów geotermalnych w specyficznych warunkach Islandii, co może zaowocować przeniesieniem dobrych praktyk na grunt polski.



## PODSUMOWANIE

Islandia posiada bardzo duże doświadczenie w utylizacji energii geotermalnej, co doskonale potwierdza szerokie spektrum zagospodarowania zasobów geotermalnych. Niskotemperaturowe zasoby geotermalne są z powodzeniem wykorzystywane na Islandii do ogrzewania pomieszczeń (90% budynków), w basenach rekreacyjnych (80% istniejących basenów), do ogrzewania szklarni, hodowli i suszenia ryb czy odładzania dróg i chodników. W planach jest także rozwijanie systemów EGS na obszarach niskotemperaturowych. Są to dobre przykłady, rozwiązania, które warto przenosić na grunt polski. Realizowane od kilku lat w Katedrze Surowców Energetycznych AGH wymiany studenckie i pracownicze w ramach programu FSS przyczyniają się do zdobywania islandzkich doświadczeń geotermalnych i poszerzania współpracy polsko-islandzkiej, a także podnoszą kwalifikacje studentów, którzy zapewne w przyszłości będą rozwijać sektor geotermalny w Polsce.

Autorzy składają serdeczne podziękowania pracownikom Keilir Institute of Technology za współpracę w ramach wymiany studenckiej i pracowniczej. Praca powstała w wyniku realizacji programu FSS na lata 2015/2016 i została przygotowana w ramach pracy statutowej nr 11.11.140.321.

## LITERATURA

- ÁRNASON B., 1976 — Groundwater systems in Iceland traced by deuterium. *Societas Scientiarum Islandica*; 42, 236.
- ARNÓRSSON S., 1995 — Geothermal systems in Iceland: structure and concept models. II. Low-temperature areas. *Geothermics* 24 (5–6), 603–629.
- ARNÓRSSON S., AXELSSON G., SÆMUNDSSON K., 2008 — Geothermal systems in Iceland. *Jökull* 58, 269–302.
- AXELSSON G., GUNNLAUGSSON E., JÓNASSON T., ÓLAFSSON M., 2010 — Low-temperature geothermal utilisation in Iceland – Decades of experience. *Geothermics* 39, 329–338.
- BJÖRNSSON A., AXELSSON G., FLÓVENZ Ó.G., 1990 — The nature of hot spring systems in Iceland. *Náttúrufræðingurinn* 60, 15–38 (in Icelandic with an English abstract).
- BÖDVARSSON G., 1983 — Temperature flow statistics and thermomechanics of lowtemperature geothermal systems in Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 19, 255–280.
- EINARSSON T., 1942 — Uber das Wesen der Heissen Quellen Islands (The nature of the hot springs in Iceland). *Societas Scientiarum Islandica* 42, 91.
- KRANZ K., 2006 — Geothermal Energy in Iceland. Technische Universität Bergakademie Freiberg.
- Orkustofnun, 2011 — Geothermal Development and Research in Iceland. Orkustofnun – National Energy Authority, Reykjavik.
- RAGNARSSON A., 2015 — Geothermal Development in Iceland 2010–2014. World Geothermal Congress. Melbourne.
- SÆMUNDSSON K., 1979 — Outline of geology of Iceland. *Jökull* 29, 7–28.

THORDARSSON T., 2012 — Outline of the geology of Iceland. Champman Conference.  
TÓMASSON J., PÓRDUR A., 2000 — Evidence for thermal mining in low temperature geothermal areas in Iceland. *Geothermics* 29, 723–735.

## **THE ICELANDIC EXPERIENCE IN USING GEOTHERMAL ENERGY RESOURCES WITHIN LOW-TEMPERATURE AREAS**

### **ABSTRACT**

The article presents the Icelandic experience in the utilisation of low-temperature geothermal resources for different purposes: space heating, recreation, fish farming and drying, greenhouses heating, as well as snow and ice melting from roads and pavements. Low-temperature geothermal resources are situated practically throughout Iceland but the largest resources of this type are located in the South-Western part of the country. The Icelandic experience in the scope of usage of low-temperature geothermal resources is particularly interesting in the context of the efficiency of managing geothermal resources in Poland. The article was written as one of results of a study visit for employees and students at the 2016 in Keilir Institute of Technology (Reykjavik, Iceland) within the FSS Scholarship programme (Scholarship and Training Fund Mobility Projects in Higher Education).

### **KEYWORDS**

Geothermal Energy, low-temperature, Iceland