

Stan wykorzystania energii geotermalnej w Europie i na świecie w 2020 r.

Marek Hajto¹



The state of geothermal energy utilization in Europe and the world as of 2020. *Prz. Geol.*, 69: 566–577.

Abstract. According to data presented at the World Geothermal Congress 2020+1 and the European Geothermal Energy Council (EGEC) market report, a significant increase in the use of geothermal energy was recorded worldwide in 2015–2020. The number of countries reporting direct use of geothermal resources (including ground source heat pumps) increased to 88 (34 in Europe), while the number of countries reporting geothermal electricity production to 29 (11 in Europe). The increase in the installed geothermal capacity for direct use in the last 5 years was over 50%, reaching approx. 108 GW_t (use of thermal energy slightly exceeds ca. 1 EJ/year), wherein ground source heat pumps (GSHP) possess the highest percentage share in the above increase. They are responsible for almost 60% of the energy produced. The world leaders in terms of direct use of geothermal energy, excluding ground source heat pumps, are in the following order: China, Turkey, Japan, Iceland, Hungary, and New Zealand. China, where the installed capacity of GSHP amounted to approx. 26 GW_t, holds the scepter of the world leader in this field. Three European countries: Sweden, Germany and Finland, are on the “top five” list in the world in terms of installed capacity at geothermal heat pumps. The total installed capacity of geothermal power plants in the world at the end of 2019 amounted to approx. 16 GW_e (approx. 30% increase in 2015–2019), which allowed for the production of approx. 95 TWh/year of electricity. The world leader in terms of generating electricity from geothermal energy is the United States, with an installed capacity of approx. 3.7 GW_e. The remaining countries with installed capacity exceeding 1 GW_e are: Indonesia, the Philippines, Turkey, Kenya, New Zealand, and Mexico. A growing interest in generating electricity by using binary systems, in particular in Europe has been noticed. In the period 2015–2019, three new binary installations in Croatia, Hungary, and Belgium were put into operation. In 2020, 8 new geothermal power plants were commissioned in Turkey, which provide additional capacity of approx. 165 MW_e. In Europe, geothermal electricity is produced in 11 countries, and the installed capacity in 139 power plants has been estimated at around 3.5 GW_e. In recent years, in the world, and especially in Europe, a significant increase in interest in the recovery of critical elements (CRMs) from geothermal waters, mainly lithium, has been noticed. The initially identified potential indicates the possibility of covering up to approx. 25% of the EU countries’ demand for lithium from geothermal brines by 2030. In many countries, geothermal energy is one of the most promising sources of renewable energy, especially when it comes to environmental and economic considerations. In some countries of the world, geothermal energy is a key element of the economy, guaranteeing energy security and enabling the achievement of the goals of climate neutrality. In other, less developed countries, geothermal energy may constitute the basic source of energy, and sometimes a significant source of national income, conditioning economic development and increasing the country’s economic and energy independence.

Keywords: geothermal energy, geothermal use, development prospects, world, Europe, years 2015–2020

Kierunki zagospodarowania energii geotermalnej są ściśle uzależnione od rodzaju i wielkości lokalnych zasobów. W regionach aktywnych wulkanicznie, usytuowanych w strefach kontaktów płyt litosfery, dominuje wykorzystanie energii geotermalnej do produkcji energii elektrycznej. W pozostałych regionach, w szczególności w rozległych basenach sedymentacyjnych, np.: basenie germańskim, basenie Niziu Polskiego, basenie panońskim, Basenie Paryskim i innych, wykorzystuje się zwykle wody termalne o temperaturze niższej od 150°C (niekiedy pary geotermalne), a dominującymi kierunkami wykorzystania tych wód są ciepłownictwo, szklarnictwo, hydrouprawy oraz rekreacja, a niekiedy balneoterapia.

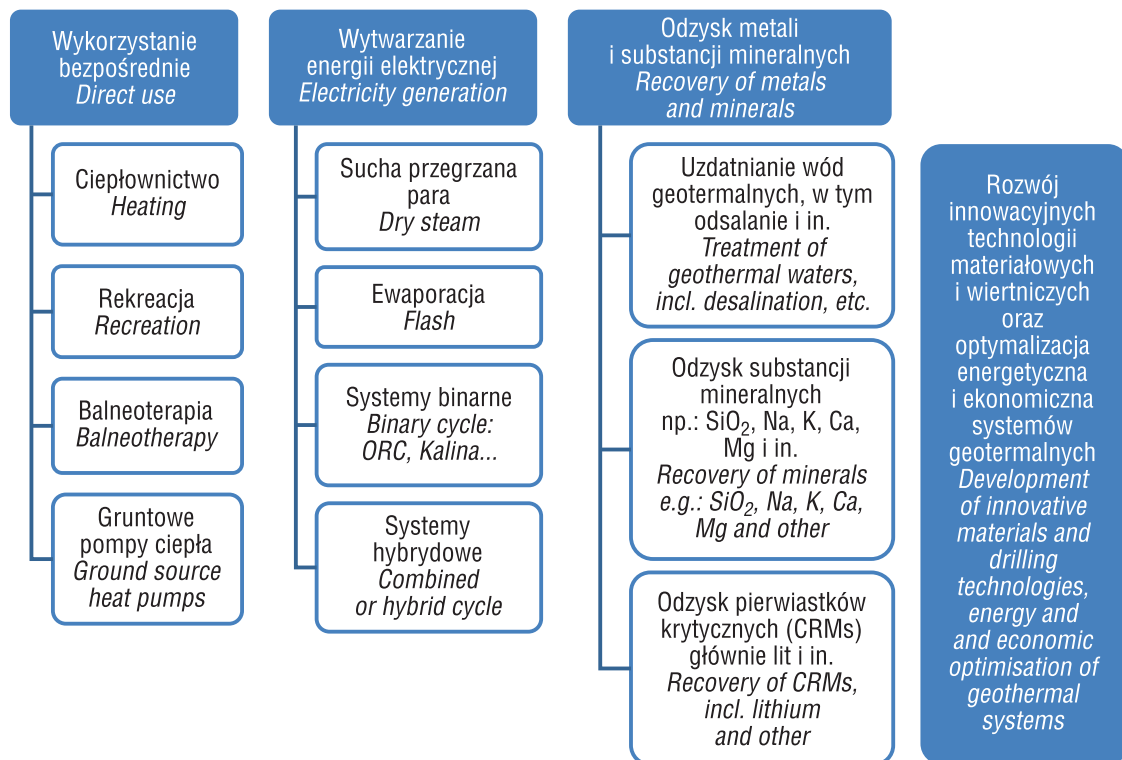
Celem niniejszego artykułu jest prezentacja obecnego stanu zagospodarowania energii geotermalnej na świecie i w Europie, ze szczególnym uwzględnieniem okresu od ostatniego Światowego Kongresu Geotermalnego, który odbył się w 2015 r. w Australii–Nowej Zelandii. Źródłem statystyk prezentowanych w artykule są publikacje i podsumowania ze Światowego Kongresu Geotermalnego 2020+1, Europejskiego Kongresu Geotermalnego w Hadze w 2019 r., a także raporty Europejskiej Rady ds. Energii Geotermalnej (EGEC), w tym najnowszy, opublikowany w czerwcu 2021 r. Na podstawie przeglądu literatury oraz własnego doświadczenia i kontaktów zestawiono listę światowych

i europejskich trendów w dziedzinie geotermii. Zestawienie to obejmuje przykłady innowacyjnych rozwiązań, patentów i projektów realizowanych obecnie bądź zrealizowanych w ostatnich 2–3 latach, ze szczególnym uwzględnieniem europejskiego rynku branży geotermalnej.

WYKORZYSTANIE ENERGII GEOTERMALNEJ W EUROPIE I NA ŚWIECIE

Rozwój wykorzystania energii geotermalnej na świecie podąża w trzech głównych kierunkach, a mianowicie: wykorzystanie bezpośrednie, produkcja energii elektrycznej oraz odzysk metali i substancji mineralnych (ryc. 1). Poza licznymi tradycyjnymi zastosowaniami wód termalnych można wyróżnić wiele nowatorskich koncepcji, które warunkują rozwój nowych technologii w geotermii, począwszy od metod poszukiwawczych, poprzez technologie wiertnicze, inżynierię złożową, technologie konwersji ciepła skał, wód i par geotermalnych, a skończywszy na technologiach odzysku substancji towarzyszących oraz metodach uzdatniania i utylizacji zużytych wód geotermalnych. Wszystkie te zagadnienia są spięte kłamrą efektywności energetycznej, ekonomicznej i środowiskowej. Innowacyjne badania w zakresie technologii geotermalnych

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30–059 Kraków; mhajto@agh.edu.pl



Ryc. 1. Główne obszary wykorzystywania geotermii na świecie
Fig. 1. Main areas of geothermal utilization in the world

są prowadzone niezależnie w różnych zakątkach świata przez wiele ośrodków badawczych oraz firmy działające w branży geotermalnej. Ze względu na interdyscyplinarność zagadnień badania te bardzo często są realizowane przez konsorcja naukowe i naukowo-przemysłowe, jak np.:

- ❑ Europejski Program Współpracy w Dziedzinie Badań Naukowo-Technicznych (*European Cooperation in Science and Technology – COST Action*);
- ❑ Platforma Naukowo-Badawcza Państwowych Służb Geologicznych (*European Geological Surveys Research Area to deliver a Geological Service for Europe – GeoERA*);
- ❑ Europejska Platforma Technologii i Innowacji w zakresie Głębokiej Geotermii (*European Technology & Innovation Platform on Deep Geothermal – ETIP-DG*);
- ❑ Europejska Platforma Technologii i Innowacji w zakresie Ogrzewania i Chłodzenia z Wykorzystaniem OZE (*European Technology & Innovation Platform on Renewable Heating and Cooling – RHC-ETIP*);
- ❑ Platforma Inteligentne Systemy Energetyczne (*Platform Smart Energy Systems – JPP SES*);
- ❑ *Geothermica ERA-Net*;
- ❑ Globalny Sojusz Geotermalny (*Global Geothermal Alliance – GGA*).

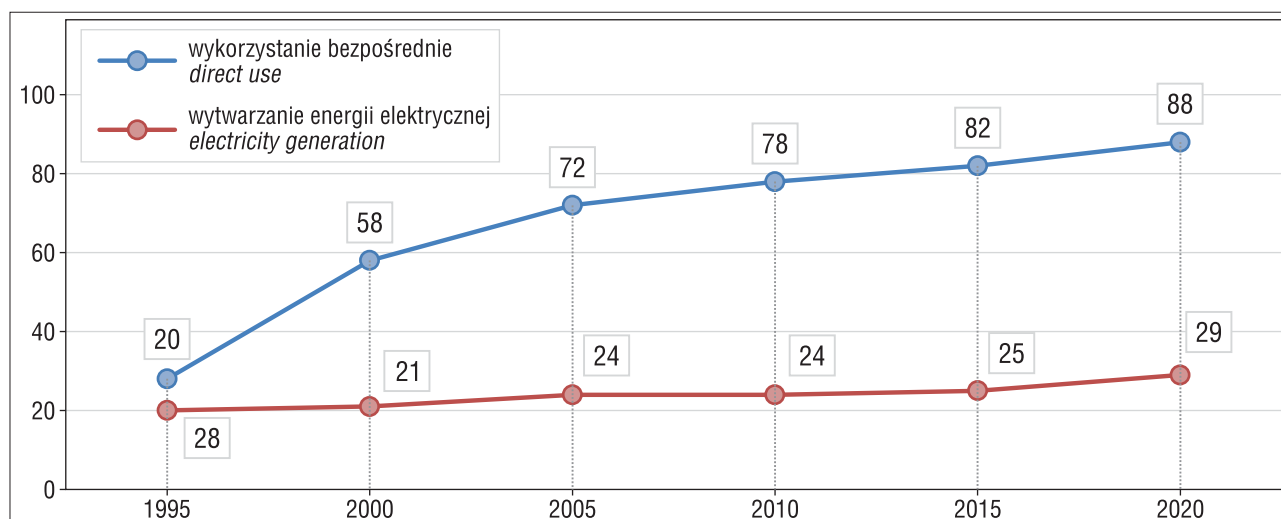
Dodatkowo wiele problemów technicznych i technologicznych jest formułowanych i rozwiązywanych w ramach licznych projektów naukowo-badawczych i wdrożeniowych, realizowanych w międzynarodowych konsorcjach o zasięgu europejskim lub światowym, dosyć wspomnieć o *Światowym Atlasie OZE 4.0 (Global Atlas for Renewable Energy 4.0)*, opublikowanym 31.05.2021 r. (<https://globalatlas.irena.org>).

BEZPOŚREDNIE WYKORZYSTANIE ZASOBÓW GEOTERMALNYCH

Bezpośrednie wykorzystanie zasobów geotermalnych polega na odebraniu ciepła płynom geotermalnym, głównie solance lub wodzie słodkiej, i skierowaniu go do użytkowników. Jest to najstarszy sposób wykorzystania energii geotermalnej, zwykle niewymagający zaawansowanych technologii odzysku lub przetwarzania form energii, jakie są stosowane do wytwarzania energii elektrycznej. Do celów grzewczych stosuje się wody o temperaturze poniżej 150°C, czyli tzw. niskotemperaturowe zasoby geotermalne.

Według najnowszych danych statystycznych, zaprezentowanych podczas zwiastuna Światowego Kongresu Geotermalnego, który odbył się 27.04.2020 r. w Reykjavíku na Islandii, energia geotermalna jest stosowana w sposób bezpośredni w 88 krajach. Przypomnijmy, że w 2015 r. ten sposób wykorzystania zasobów geotermalnych raportowały 82 kraje (Lund, Toth, 2020). Ostatnio do statystyk raportu IGA dołączyły: Boliwia, Burundi, Cypr, Wyspy Owcze, Malawi oraz Malediwy (ryc. 2).

Zainstalowaną moc geotermalną wykorzystywaną do celów grzewczych (tzn. bezpośrednio), łącznie z energią wytwarzaną przez gruntowe pompy ciepła (GPC), oszacowano na ok. 107,727 GW_t (tab. 1; ryc. 1), co wskazuje na znaczący przyrost mocy (o 52%) w latach 2015–2019 r. Przyrost ten jest jeszcze bardziej widoczny, gdy uwzględnimy globalne zużycie energii cieplnej, które na koniec 2019 r. oszacowano na 1 020,887 PJ/rok (ok. 283 580 GWh/rok) – oznacza to wzrost o ok. 72% w ciągu ostatnich 5 lat! (tab. 1). Średnią wartość współczynnika zagospodarowania zainstalowanej mocy geotermalnej (*CF – capacity factor*) oszacowano na 0,3 (Lund, Toth, 2020), co, upraszczając, oznacza, że zainstalowana moc geotermalna jest



Ryc. 2. Liczba państw raportujących wykorzystanie energii geotermalnej do celów bezpośrednich (tzn. grzewczych) oraz produkcji energii elektrycznej w latach 1995–2020 (wg Lund, Toth, 2020; Bertani, 2005, 2010, 2015; Hutterer, 2020)

Fig. 2. Number of countries reporting use of geothermal energy for direct use (heating) and electricity generation in 1995–2020 (after Lund, Toth, 2020; Bertani, 2005, 2010, 2015; Hutterer, 2020)

Tab. 1. Globalne wykorzystanie zasobów geotermalnych do celów bezpośrednich – stan na rok 2020 (wg Lund, Toth, 2020)

Table 1. Global use of geothermal resources for direct purposes – as of 2020 (after Lund, Toth, 2020)

Sposób wykorzystania <i>Method of use</i>	Zainstalowana moc geotermalna <i>Installed geothermal power</i>	Produkcja ciepła geotermalnego <i>Geothermal heat production</i>	Współczynnik wykorzystania zasobów <i>Resources use ratio</i>
	[GW,]	[PJ/rok]	[–]
Geotermalne pompy ciepła <i>Geothermal heat pumps</i>	77,547	599,981	0,245
Ciepłownictwo z zastosowaniem głębokiej geotermii <i>Deep geothermal district heating</i>	12,768	162,979	0,405
Rekreacja, balneoterapia <i>Recreation, balneotherapy</i>	12,253	184,07	0,476
Ogrzewanie szklarni <i>Greenhouse heating</i>	2,459	35,826	0,462
Akwakultury <i>Aquaculture</i>	0,95	13,573	0,453
Zastosowania przemysłowe <i>Industrial applications</i>	0,852	16,39	0,61
Odladzanie jezdni, chodników, pasów startowych <i>De-icing of roadways, pavements, runways</i>	0,435	2,589	0,189
Suszenie produktów rolnych <i>Drying of agricultural products</i>	0,257	3,529	0,435
Inne, <i>Other</i>	0,106	1,95	0,583
Razem, <i>Total</i>	107,727 (+52%)	1 020,887 (+72%)	
Średnia, <i>Mean</i>			0,3

wykorzystywana jedynie w 30%. Relatywnie mała wartość współczynnika CF wynika z dużego udziału pomp ciepła w bilansie wytwarzanej energii w zastosowaniach bezpośrednich.

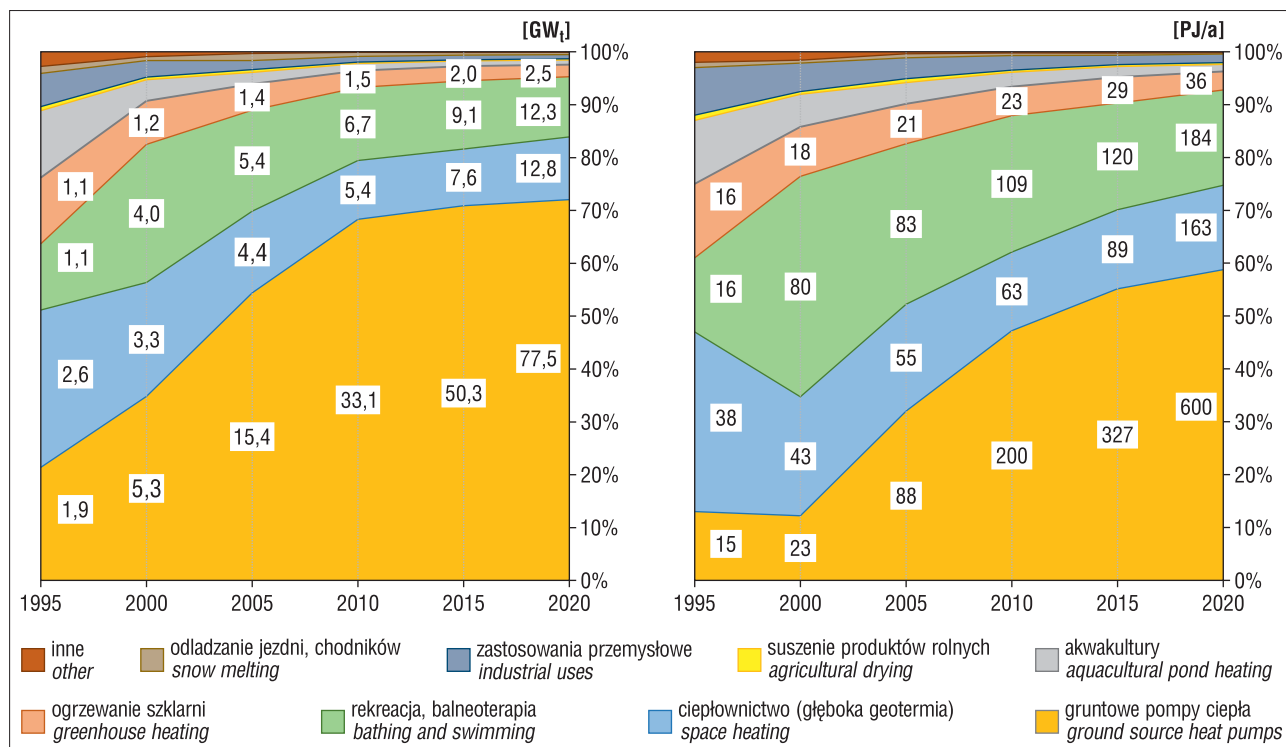
W całkowitym bilansie zużycia energii geotermalnej obserwuje się duże zróżnicowanie udziału różnych sposobów bezpośredniego wykorzystywania tej energii. Dynamiczny wzrost globalnego wykorzystania gruntowych pomp ciepła spowodował, że w 2020 r. ich udział w całkowitym bilansie wykorzystania bezpośredniego, wyrażonego w PJ/rok, wyniósł ok. 59%. Wobec tak dynamicznego sukcesu pomp ciepła udział tradycyjnego ciepłownictwa geotermalnego w ogrzewnictwie zmniejszył się do ok. 16% (Lund, Toth, 2020), przy czym 91%

udziału (tj. ok. 148 PJ/rok) mają w nim sieci ciepłownicze. Należy też zwrócić uwagę na stałe utrzymywanie się sporego udziału wykorzystania ciepła geotermalnego do rekreacji i balneoterapii – ok. 18% całkowitego, bezpośredniego zużycia. Analiza danych z lat 1995–2020 wskazuje jednak na osłabienie dynamiki wzrostu zastosowań w rekreacji i balneoterapii, kosztem ciepłownictwa z wykorzystaniem gruntowych pomp ciepła (ryc. 3). Pozostałe zastosowania, obejmujące: ogrzewanie szklarni, akwakultury, suszenie produktów rolnych, zastosowania przemysłowe, odladzanie jezdni i inne, mają w sumie marginalny udział (ok. 7%) w całkowitym bilansie bezpośredniego zużycia energii geotermalnej na świecie.

Kraje azjatyckie wykorzystują najwięcej energii geotermalnej do celów grzewczych. Moc geotermalna zainstalowana w tych krajach, liczona łącznie z energią wytwarzaną przez pompy ciepła, stanowi ok. 45,6% całkowitej zainstalowanej mocy grzewczej. Kolejne miejsca zajmują w tym rankingu kraje Europy – ok. 31,9% udziału i Ameryki (północnej, środkowej i południowej) – ok. 21,7%. W pozostałych krajach świata zainstalowano ok. 0,8% całkowitej mocy do zastosowań bezpośrednich. W tej statystyce Tur-

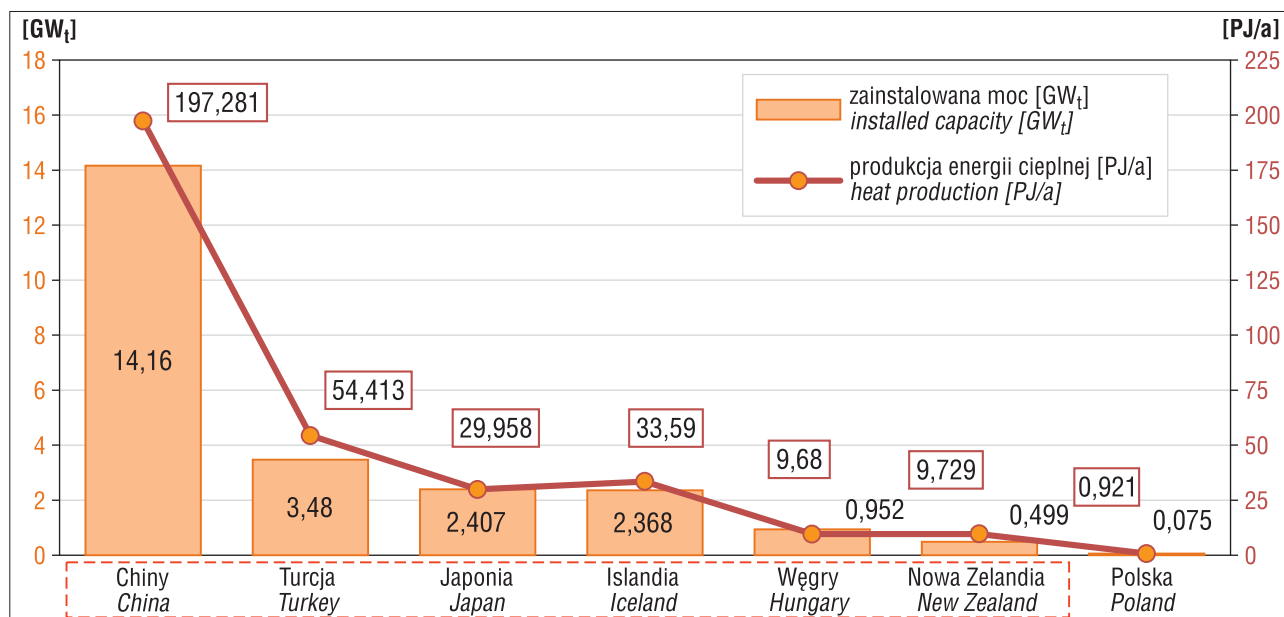
cja została uznana za kraj azjatycki. Światowymi liderami pod względem bezpośredniego wykorzystania energii geotermalnej, z wyłączeniem pomp ciepła, są w kolejności: Chiny, Turcja, Japonia, Islandia, Węgry oraz Nowa Zelandia (ryc. 4).

Chiny, z zainstalowaną mocą ok. 40,61 GW_t oraz wykorzystaniem ciepła na poziomie 443,492 PJ/rok, wiodą na świecie prym pod względem łącznego wykorzystania zasobów głębszej i płytkiej geotermii. Kolejne miejsca w



Ryc. 3. Metody bezpośredniego wykorzystania energii geotermalnej na świecie w latach 1995–2020 (według Lund, Toth, 2020)

Fig. 3. The share of individual applications of direct use of geothermal energy in the world in 1995–2020 (after Lund, Toth, 2020)



Ryc. 4. Polska na tle światowych liderów w bezpośrednim wykorzystaniu energii geotermalnej – bez gruntowych pomp ciepła (wg Lund, Toth, 2020)

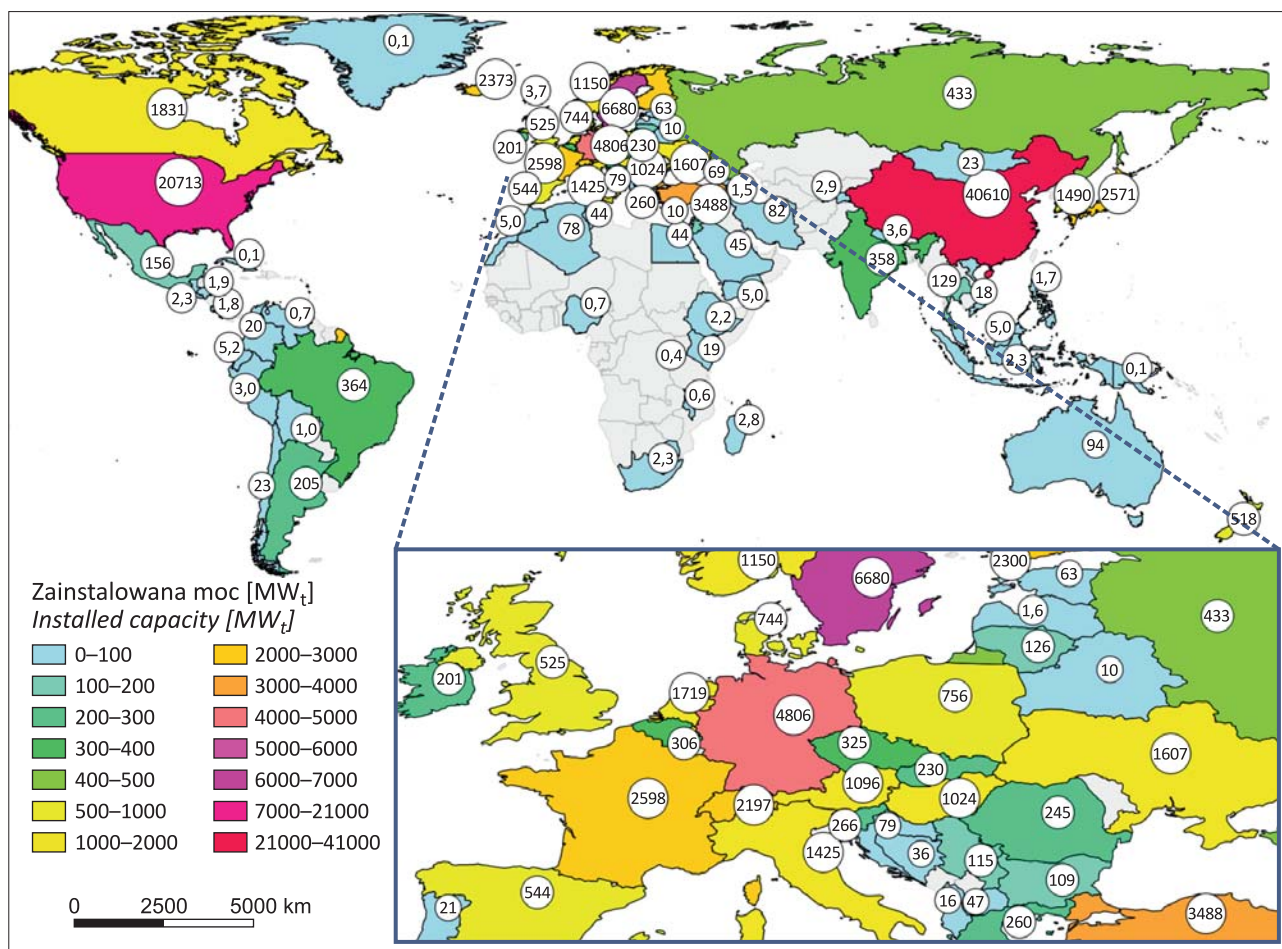
Fig. 4. Poland against the background of worldwide leaders in the direct use of geothermal energy – without geothermal heat pumps (after Lund, Toth, 2020)

tej klasyfikacji zajmują: Stany Zjednoczone (ok. 20,713 GW; 152,81 PJ/rok), Szwecja (ok. 6,68 GW; 62,4 PJ/rok), Niemcy (ok. 4,81 GW; 29,14 PJ/rok) oraz Turcja (ok. 3,488 GW; 54,584 PJ/rok). Całkowite, bezpośrednie wykorzystanie energii geotermalnej w wymienionych pięciu krajach stanowi odpowiednio ok. 71% zainstalowanej światowej mocy (GW) oraz aż prawie 73% wykorzystanej energii geotermalnej (w PJ/rok). Kolejne miejsca zajmują: Francja, Japonia, Islandia i Finlandia. W klasyfikacji bezpośredniego wykorzystania energii geotermalnej Polska, z zainstalowaną mocą geotermalną ok. 756 MWt oraz wykorzystaniem energii ok 4,176 PJ/rok, plasuje się na 19 pozycji na świecie i na 13 wśród 38 krajów europejskich, które uwzględniono w statystyce (ryc. 5).

Sz szczególnie ważnymi i perspektywicznymi dziedzinami bezpośredniego wykorzystania energii geotermalnej są: ciepłownictwo (zwłaszcza w Europie), rolnictwo, zastosowania przemysłowe, balneoterapia i rekreacja. Ciepłownictwo geotermalne, w tym ciepłownictwo sieciowe, ze względu na istotny potencjał w ograniczeniu niskiej emisji oraz zmniejszeniu lokalnej i globalnej emisji CO₂, wciąż nie w pełni wykorzystany, odgrywa największą rolę. Znaczące nakłady inwestycyjne na ciepłownictwo sieciowe, zwłaszcza w Europie, spowodowały, że w obszarze ciepłownictwa geotermalnego (bez pomp ciepła) w latach 2015–2019 odnotowano największą dynamikę wzrostu

bezpośredniego wykorzystania geotermii, tj. o ok. 83,8%. Pompy ciepła, z dynamiką wzrostu udziału w wytwarzaniu energii w latach 2015–2019 na poziomie 83,6%, uplasowały się na drugiej pozycji. Światowymi liderami w ciepłownictwie sieciowym – zarówno pod względem zainstalowanej mocy, jak i rocznego zużycia energii – są: Chiny, Islandia, Turcja, Francja i Niemcy (Lund, Toth, 2020).

Analizując dane statystyczne dotyczące wykorzystania zasobów geotermalnych, w tym bezpośredniego zagospodarowania energii geotermalnej, szczególne miejsce zajmuje Islandia, która jako jedyny kraj na świecie może pochwalić się tym, że ok. 81% energii pierwotnej uzyskuje z lokalnych źródeł odnawialnych, w tym 62% z geotermii, a 19% z energii wodnej (Ragnarsson i in., 2020). Wykorzystanie bezpośrednie energii geotermalnej na poziomie 33,579 PJ/rok stanowi ok. 61% całkowitego wykorzystania zasobów geotermalnych w tym kraju. Dodatkowo ponad 90% ciepła zasilającego lokalne systemy ciepłownicze na Islandii pochodzi właśnie z geotermii (Ragnarsson i in., 2020). Wskaźnik nasycenia rynku w obszarze bezpośredniego wykorzystania geotermii, mierzony wielkością zainstalowanej mocy geotermalnej, przypadający na tysiąc obywateli Islandii, wynosi 7. Wskaźnik nasycenia rynku w drugiej w kolejności Szwecji wynosi 0,67 (czyli jest ponad 10-krotnie mniejszy). Należy zwrócić uwagę, że wskaźnik ten nie jest jednoznaczny ze wskaź-



Ryc. 5. Zainstalowana moc w obszarze bezpośredniego wykorzystania zasobów geotermalnych na świecie w roku 2020, łącznie z gruntowymi popami ciepła (wg Lund, Toth, 2020)

Fig. 5. Worldwide installed capacity for direct use of geothermal energy, including geothermal heat pumps, as of 2020 (after Lund, Toth, 2020)

nikiem stosowanym w statystykach EGEC (Garabetian i in., 2020; 2021), ponieważ raporty EGEC odnoszą się do liczby gospodarstw domowych, a nie do liczby obywateli. Spośród pozostałych zastosowań geotermii, biorąc pod uwagę wykorzystanie ciepła (GJ/rok), największą dynamikę wzrostu w analizowanym okresie odnotowały: suszenie produktów rolnych (73,8%), zastosowania przemysłowe (56,8%); rekreacja i balneoterapia (53,9%) oraz w mniejszym stopniu pozostałe zastosowania. Według Lunda i Totha (2020) w latach 2015–2019 w 42 krajach świata wykonano 2647 głębokich otworów geotermalnych (bez otworów płytkiej geotermii).

EUROPA – KIERUNEK CIEPŁOWNICTWO!

Europa jest wiodącym rynkiem sieciowego ciepłownictwa geotermalnego, chłodzenia budynków oraz wykorzystania wód termalnych w przemyśle, usługach i rolnictwie. Ponad 25% ludności Unii Europejskiej mieszka na obszarach, gdzie występują zasoby geotermalne nadające się do wykorzystania w systemach ciepłowniczych (Dumas, Bartosik, 2014). W 2019 r. energia geotermalna do celów ciepłowniczych była wykorzystywana w 34 krajach Europy, a w 25 krajach zasilala systemy ciepłownicze (Garabetian i in., 2020). Według raportu opublikowanego w 2021 r. przez Europejską Radę ds. Geotermii (EGEC) w Europie w 2020 r. działało 350 geotermalnych systemów ciepłowniczych (w 2019 r. 327). Znamienny jest fakt, że kolejne 232 systemy ciepłownicze były już na różnych etapach realizacji (Garabetian i in., 2021). Ponad 90% udziału w ciepłownictwie geotermalnym mają sieci ciepłownicze, co podkreśla efektywność wykorzystania energii geotermalnej w tym zakresie. Dane te świadczą o znacznym zainteresowaniu geotermalnym ciepłownictwem sieciowym w Europie, którego dynamikę pod względem przyrostu zainstalowanej mocy oszacowano na ok 7% rocznie (Garabetian i in., 2020). Dużym inwestycjom sprzyja wprowadzenie *Europejskiego Planu Odbudowy* oraz jego deklamacje krajowe w całej UE, które wspierają zielone technologie, w tym sektor geotermalny. W 2020 r. całkowita zainstalowana moc termiczna systemów ciepłowniczych w 25 krajach Europy wyniosła ok. 6 GW_t (w 2019 r. 5,5 GW_t). Moc zainstalowaną w ciepłownictwie sieciowym w 2019 r. w krajach UE oszacowano na ok. 2 GW_t (Garabetian i in., 2020). Najszybszy rozwój ciepłownictwa sieciowego z wykorzystaniem geotermii notują w Europie: Francja (41), Niemcy (33) i Holandia (10) – w nawiasach wskazano liczbę planowanych lub realizowanych obecnie projektów. Do grona europejskich liderów w tej dziedzinie dołączają takie kraje, jak Polska (20), Węgry (17), Włochy (16), Dania (13) i Szwajcaria (13), gdzie w ostatnich latach odnotowano znaczne zainteresowanie inwestycjami w geotermalne ciepłownictwo sieciowe. Miejmy nadzieję, że podjęte działania zaowocują wybudowaniem ciepłowni geotermalnych.

Europa odzwierciedla światowe trendy intensywnego przyrostu nowych mocy geotermalnych sieci ciepłowniczych i chłodniczych. Niestety, Polska może powtórzyć kazu Niemiec, gdzie z planowanych w 2012 r. 53 ciepłowni geotermalnych do 2020 r. zdołano uruchomić zaledwie 9. Przykładem godnym naśladowania jest natomiast Holandia, która rok w rok odnotowuje stabilny wzrost na rynku geotermalnego ciepłownictwa sieciowego. W 2020 r. w Holandii geotermalna moc zainstalowana w ciepłownictwie

sieciowym wzrosła o ponad 43% (do 298 MW_t), a w Gruzji o 97%, przez co Polska spadła o 1 pozycję niżej w tym rankingu. W Europie jest obserwowany stały postęp w zwiększaniu zainstalowanej geotermalnej mocy cieplnej – o 7–10% rocznie.

W rankingu 25 państw europejskich, uwzględnionych w raporcie EGEC (Garabetian i in., 2020), Polska z zainstalowaną mocą w ciepłownictwie sieciowym ok. 75 MW_t zajęła 11 pozycję (ryc. 6). Strategiczne plany znacznego zwiększenia wykorzystania ciepła geotermalnego, zmierzające do osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2035 r., mają takie miasta, jak: Helsinki, Dublin, Monachium, Frankfurt, Paryż, Wiedeń i wiele innych... dlaczego nie Kraków, Warszawa, Wrocław, Łódź lub Pcm? Wiele państw w Europie, w tym Polska, ma znaczący, niezagospodarowany potencjał wykorzystania głębokiej geotermii w ciepłownictwie sieciowym (Hajto, 2018; Kepińska, 2020).

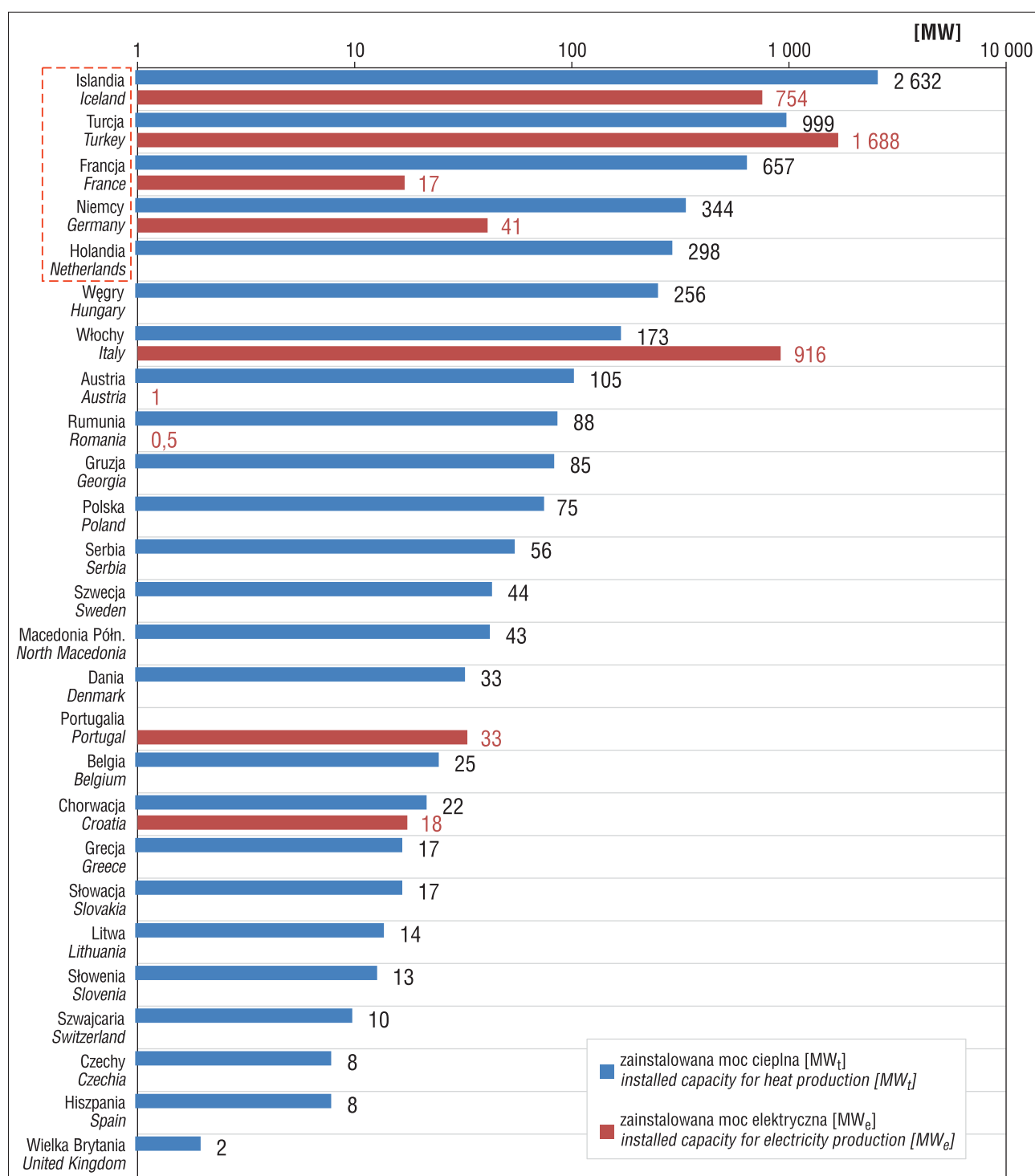
PŁYTKA GEOTERMIA NA ŚWIECIE

Istotny udział w bezpośrednim wykorzystaniu zasobów geotermalnych zarówno na świecie, jak i w Europie zajmuje sektor geotermalnych pomp ciepła. W 54 państwach spośród 88 raportowanych podczas WGC2020+1 udział energii (cieplnej) wytwarzanej za pomocą geotermalnych pomp ciepła był znaczący. Oszacowania Lunda i Totha (2020) wskazują, że wg stanu na 2019 r. w gruntowych pompach ciepła na świecie zainstalowano moc ok. 77,5 GW_t. Równocześnie wyprodukowano ok. 600 PJ/rok ciepła, co stanowi odpowiednio aż 71,6% zainstalowanej mocy i 59,2% rocznego zużycia energii w bilansie bezpośredniego wykorzystania zasobów geotermalnych na świecie (Lund, Toth, 2020). Wartości te odnoszą się wyłącznie do pracy pomp ciepła w trybie ogrzewania i dotyczą wyłącznie składowej geotermalnej, tzn. że w obliczeniach uwzględniono energię zużytą do napędzania urządzeń. Zakładając, że średnia moc gruntowej pompy ciepła wynosi 12 kW, można z dużym przybliżeniem oszacować, że obecnie na świecie jest zainstalowanych ok. 6,5 mln urządzeń (Lund, Toth, 2020).

Pod względem zagospodarowania zasobów płytkiej geotermii (pomp ciepła) pierwsze miejsce na świecie zajmują Chiny, gdzie zainstalowaną moc geotermalnych pomp ciepła oszacowano na ok. 26,45 GW_t, a wykorzystanie ciepła w 2019 r. wyniosło ok. 246,21 PJ/rok. Kolejne miejsca w tej klasyfikacji zajmują: Stany Zjednoczone (ok. 20,23 GW_t; 145,45 PJ/rok), Szwecja (ok. 6,68 GW_t; 62,4 PJ/rok), Niemcy (ok. 4,4 GW_t; 23,76 PJ/rok) oraz Finlandia (ok. 2,3 GW_t; 23,4 PJ/rok). Geotermalne pompy ciepła zainstalowane w tych 5 krajach dostarczają 77,4% światowej mocy wytwarzanej w tej technologii oraz 83,5% ciepła (ryc. 7).

EUROPEJSKI RYNEK GRUNTOWYCH POMP CIEPŁA

Na europejskim rynku gruntowych pomp ciepła od lat utrzymuje się w stabilny trend wzrostowy, mimo że pandemia COVID-19 negatywnie odbiła się na sprzedaży w niektórych państwach, w tym w Polsce. W 2020 r. w Polsce sprzedano ok. 5,26 tys. gruntowych pomp ciepła (GPC), natomiast w 2019 r. – 6,19 tys. szt., co oznacza spadek o 14,4% (Garabetian i in., 2021). W całej Europie w 2020 r.



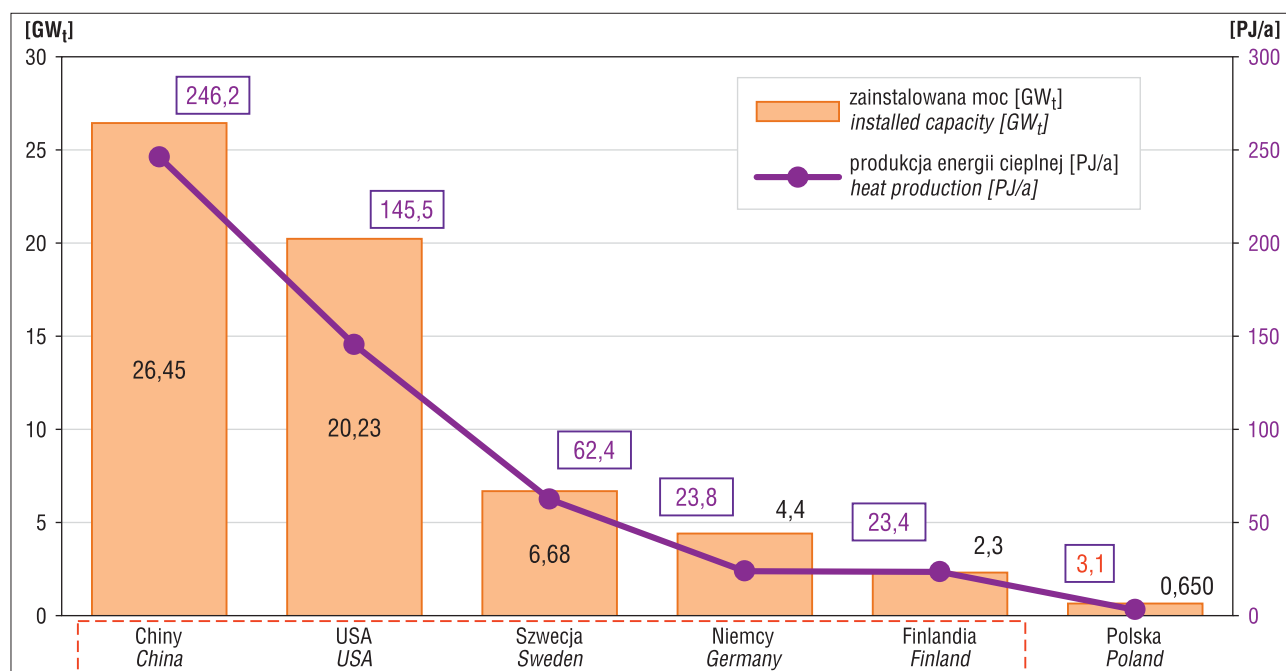
Ryc. 6. Zainstalowana moc geotermalna w ciepłownictwie sieciowym oraz do wytwarzania energii elektrycznej w wybranych państwach Europy (wg Garabetian i in., 2021)

Fig. 6. Installed capacity for geothermal electricity and district heating in selected European countries in 2020 (after Garabetian et al., 2021)

sprzedano ok. 100 tys. GPC (Garabetian i in., 2021). Warto zwrócić uwagę, że połowa sprzedanych urządzeń zasilila jedynie trzy rynki europejskie: Szwecję, Niemcy oraz Holandię. W 2020 r. w Europie pracowało ok. 2,1 mln gruntowych pomp ciepła, co oznacza, że liczba tych urządzeń podwoiła się w ciągu ostatniej dekady (Garabetian i in., 2021). Sumaryczną zainstalowaną moc GPC w 2020 r. oszacowano na ok. 27 GW_t. Dla porównania, zainstalowana moc gruntowych pomp ciepła w Chinach wynosi ok. 26,5 GW_t – jest prawie równa całkowitej mocy

zainstalowanej w Europie! Rynek europejski odpowiada zatem za 1/3 światowego rynku gruntowych pomp ciepła. W krajach o dobrze rozwiniętym rynku gruntowych pomp ciepła, zaspokajają one ok. 10% zapotrzebowania mieszkańców na ciepło, np. w Szwecji – 12%, a w Finlandii – 6% (Garabetian i in., 2021).

W Europie wzrasta średnia moc instalacji gruntowych pomp ciepła i zwiększa się głębokość montażu gruntowych wymienników ciepła – z ok. 100 m w 2010 r., do ok. 200 m w 2020 r., co skutkuje zmniejszeniem liczby otworów.



Ryc. 7. Polska na tle państw o największej zainstalowanej mocy oraz produkcji ciepła geotermalnego z zastosowaniem geotermalnych pomp ciepła (wg Lund, Toth, 2020)

Fig. 7. Poland against the background of countries with the largest installed capacity and production of geothermal heat using geothermal heat pumps (after Lund, Toth, 2020)

Bardzo dobrze na tle rynku europejskiego prezentuje się Polska, gdzie do końca 2020 r. sprzedano ok. 67,3 tys. gruntowych pomp ciepła. (Polska Organizacja Rozwoju Technologii Pomp Ciepła – PORT PC – inf. ustna). Pod koniec 2020 r. w Polsce pracowało ponad 180 tys. pomp ciepła do centralnego ogrzewania lub centralnego ogrzewania i dostarczania ciepłej wody użytkowej (PORT PC – inf. ustna). Pod względem skumulowanej liczby sprzedanych gruntowych pomp ciepła Polska plasuje się na 8 miejscu w Europie, a w rankingu sprzedaży gruntowych pomp ciepła w 2020 r. na 6 miejscu (Garabetian i in., 2021).

Pompy ciepła typu solanka–woda wciąż mają znaczny udział w rynku pomp ciepła służących do ogrzewania czy chłodzenia pomieszczeń. Analiza danych udostępnionych przez PORT PC wskazuje na ogólną tendencję wzrostu sprzedaży pomp rewersyjnych, w szczególności o mocy powyżej 20 kW (PORT PC, 2020), które umożliwiają pracę urządzenia w trybie chłodzenia.

Znaczne osiągnięcia w wykorzystaniu technologii pomp ciepła w Europie wynikają przede wszystkim ze strategicznych założeń polityki UE, w tym elektryfikacji ogrzewania budynków oraz wdrażania polityki tzw. łączenia sektorów w świetle *Europejskiego Zielonego Ładu*. Analizy stowarzyszenia *Eurelectric* (<https://www.eurelectric.org>) wskazują, że aby osiągnąć do 2050 r. wyznaczone cele związane z dekarbonizacją całej gospodarki krajów UE na poziomie 95%, należy wdrożyć elektryfikację budownictwa na poziomie 63% (PORT PC, 2019). W ogrzewnictwie będzie to możliwe jedynie dzięki powszechnemu zastosowaniu pomp ciepła. Pompy ciepła, w tym te wyposażone w gruntowe wymienniki ciepła, są jedną z wiodących technologii gotowych do wykorzystania w celu realizacji nowej strategii energetycznej związanej z dekarbonizacją.

ZASTOSOWANIE GEOTERMII DO PRODUKCJI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Goście wody geotermalne, pary wód oraz ciepło skał z powodzeniem są wykorzystywane do produkcji energii elektrycznej. Produkcja prądu z wykorzystaniem ciepła Ziemi jest prowadzona w 29 krajach (Huttrer, 2020). Pod koniec 2019 r. sumaryczna zainstalowana moc elektrowni geotermalnych wynosiła ok. 15,95 GW_e, co umożliwiło wyprodukowanie ok. 95,1 TWh/rok energii elektrycznej. Dla porównania, w Polsce zapotrzebowanie na energię elektryczną wyniosło w 2019 r. ok. 166 TWh (www.cire.pl). Od 2015 r. zainstalowana moc geotermalna do produkcji energii elektrycznej zwiększyła się ok. 30% (Huttrer, 2020). Przyrost zainstalowanej mocy i produkcji energii elektrycznej z geotermii jest tendencją obserwowaną od wielu lat (Bertani, 2005, 2010, 2015). Światowymi liderami w wykorzystywaniu geotermii do produkcji energii elektrycznej z są: USA, Indonezja, Filipiny, Turcja, Kenia, Nowa Zelandia oraz Meksyk (ryc. 8). W każdym z wymienionych krajów zainstalowano co najmniej 1 GW_e mocy w siłowniach geotermalnych.

Do krajów o największej dynamice wzrostu zainstalowanej mocy geotermalnej do produkcji energii elektrycznej w latach 2015–2019, gdzie całkowita nominalna moc pod koniec 2019 r. była większa od 100 MW_e, należą: Turcja (290%), Kenia (101%), Indonezja (71%), Kostaryka (27%) oraz USA (19%). W latach 2015–2019 największą moc wytwórczą do produkcji energii elektrycznej zainstalowano w: Turcji – 1152 MW_e, Indonezji – 949 MW_e, Kenii – 599 MW_e oraz w USA – 383 MW_e. W 2020 r. Turcja zwiększyła swoją moc wytwórczą o kolejne 164,7 MW_e, osiągając całkowitą zainstalowaną moc ok. 1,7 GW_e (Garabetian i in., 2021). Turcja ma aspiracje, aby w nieodległym czasie stać się światowym liderem w produkcji

energii elektrycznej ze źródeł geotermalnych (Mertoglu i in., 2020). Indonezja jest uznawana za kraj o największym potencjale geotermalnym do produkcji energii elektrycznej, który oszacowano na ok. 29 GW_e – obecne wykorzystanie zasobów jest oceniane na ok. 10% (Huttrer, 2020). Niezagospodarowany potencjał do produkcji prądu z wykorzystaniem głębokiej geotermii mają również niektóre państwa europejskie, m.in.: Belgia, Wielka Brytania, Grecja, Rumunia czy Szwajcaria. W latach 2015–2019 pięć państw zaczęło wykorzystywać zasoby geotermalne do produkcji energii elektrycznej (Huttrer, 2020), są to: Chile (48 MW_e), Honduras (35 MW_e), Chorwacja (16,5 MW_e), Węgry (3 MW_e) oraz Belgia (0,8 MW_e).

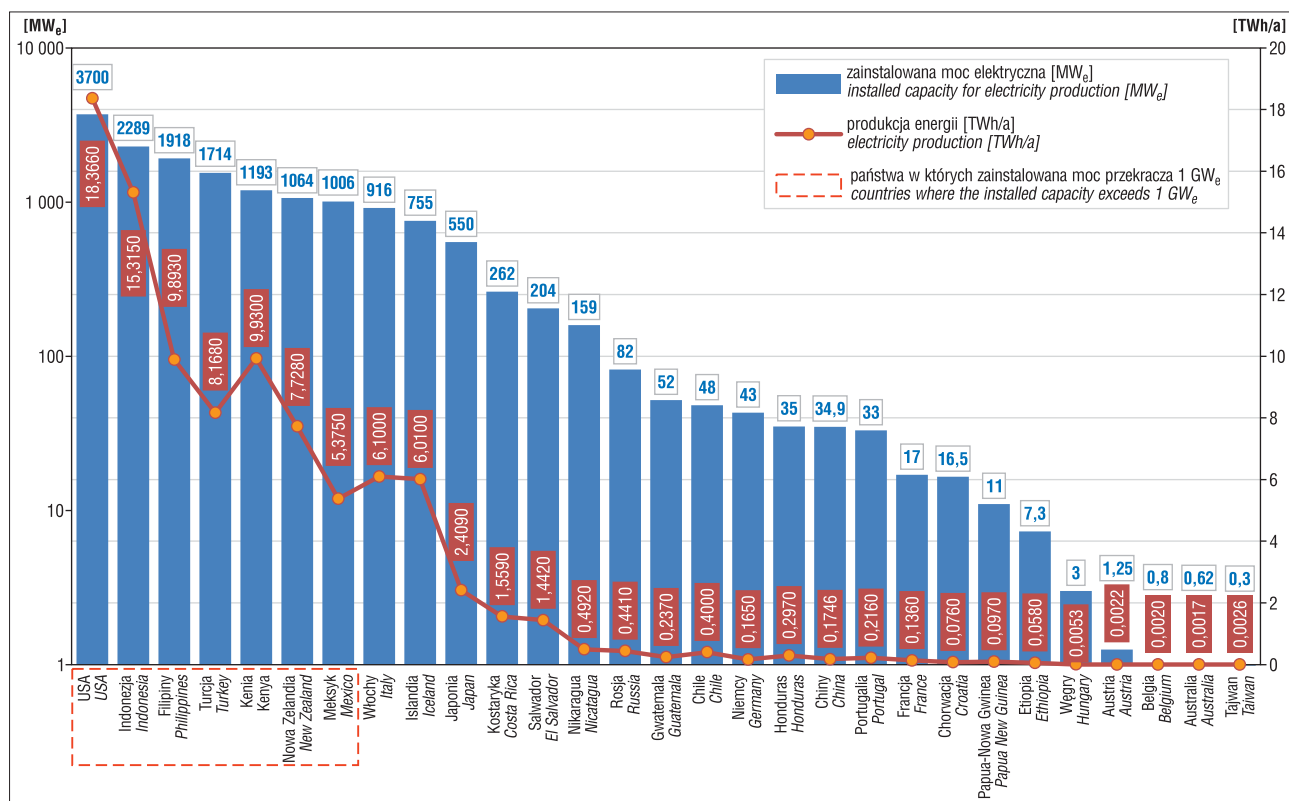
EUROPA – DOMINACJA SYSTEMÓW BINARNYCH

W Europie energię elektryczną z geotermii produkuje 11 państw – ich sumaryczną moc, zainstalowaną w 130 elektrowniach, oszacowano na ok. 3,5 GW_e (w tym w krajach UE na ok. 1 GW_e), co rocznie umożliwia produkcję ok. 20 TWh energii elektrycznej. Według danych raportów EGEN (Garabetian i in., 2020, 2021) pod koniec 2020 r. 41 nowych inwestycji tego typu znajdowało się w różnej fazie realizacji, a ponad 120 było w fazie przedinwestycyjnej. W dużej mierze uwzględniały one systemy binarne i kogenerację. W Europie w wykorzystaniu geotermii do wytwarzania energii elektrycznej wiodą: Turcja, Włochy, Islandia, Francja i Niemcy (ryc. 8).

W elektrowniach geotermalnych są stosowane 3 podstawowe rozwiązania technologiczne, a mianowicie: sucha przegrzana pary (*dry steam*), systemy ewaporacyjne (*flash*) oraz systemy binarne (*binary cycle*). Dodatkowo, w celu

zwiększenia efektywności układów geotermalnych, stosuje się niekiedy tzw. systemy hybrydowe (*combined or hybrid cycle*), które zawierają co najmniej 2 moduły podstawowe. Upraszczając, można stwierdzić, że typ zastosowanego systemu jest uzależniony od rodzaju źródła geotermalnego, temperatury i fazy medium złożowego oraz wielkości zasobów (strumienia medium złożowego, które będzie wykorzystywała elektrownia geotermalna). W dużych instalacjach, o mocy ponad 60 MW_e stosuje się przeważnie systemy hybrydowe oraz ewaporacyjne. Elektrownie wykorzystujące systemy suchej, przegrzanej pary (*dry steam*) mają zwykle moc ok. 25 MW_e. W małych instalacjach, tj. o mocy mniejszej od 16 MW_e, dominują systemy binarne.

W Europie odnotowuje się systematyczny wzrost zainteresowania technologią wytwarzania energii elektrycznej w instalacjach binarnych. Obecnie stanowią one ponad 60% wszystkich systemów zainstalowanych na tym kontynencie. Umożliwiają one wykorzystanie zasobów wód termalnych o relatywnie niższej temperaturze. W systemach binarnych wykorzystuje się dodatkowy obieg czynnika roboczego o obniżonej temperaturze parowania (lub kondensacji) – np. płyn organiczny lub mieszaninę wody i amoniaku – co umożliwia efektywne wykorzystanie wód o temperaturze 70–100°C. Instalacje tego typu od lat pracują już we Francji, Niemczech i Austrii, a także na Alasce (w tym przypadku temperatura wody wynosi zaledwie 67°C). W niektórych krajach trwają prace zmierzające do uruchomienia kolejnych instalacji binarnych. Eksperti rynku prognozują podwojenie liczby elektrowni geotermalnych w Europie w ciągu kolejnych 5–8 lat! (Garabetian i in., 2020, 2021). W latach 2015–2019 w Europie uruchomiono kolejne trzy instalacje binarne – w Belgii (2016), na Węgrzech (2017) i w Chorwacji (2018). Największą z nich



Ryc. 8. Światowi liderzy w wykorzystywaniu geotermii do produkcji energii elektrycznej – stan w 2020 r. (wg Huttrer, 2020)
Fig. 8. World leaders in using geothermal energy for electricity generation – as of 2020 (after Huttrer, 2020)

jest instalacja w Chorwacji, w miejscowości Velika Ciglena (ok. 100 km na E od Zagrzebia), o mocy turbiny 16,5 MW_e, która została zrealizowana w systemie ORC (*Organic Rankine Cycle* – organiczny cykl Rankina), dostarczoną przez firmę *Turboden*. W 2020 r. w Turcji oddano do użytku 8 nowych elektrowni geotermalnych, w których zainstalowano moc ok. 165 MW_e (Garabetian i in., 2021). Korzystne warunki geotermiczne występują w wielu innych regionach Europy, gdzie z powodzeniem można rozważyć budowę niewielkich instalacji binarnych, w celu zaspokojenia lokalnych potrzeb energetycznych poprzez dostarczenie energii elektrycznej i ciepła. Interaktywna mapa prezentująca lokalizacje elektrowni geotermalnych jest dostępna pod adresem <https://tiny.pl/9x4sg>.

ODZYSK METALI ORAZ SUBSTANCJI MINERALNYCH Z WÓD TERMALNYCH

Od zarania dziejów ludzie odzyskiwali substancje mineralne z wód, w tym z wód termalnych. Na przykład Chińczycy w VI w. p.n.e. kopali głębokie studnie solankowe i pozyskiwali sól, którą wykorzystywali jako towar wymienny, środek do konserwacji żywności itp. W latach 30. IX w. w Larderello we Włoszech rozpoczęto pozyskiwanie kwasu borowego i boraksu z par geotermalnych. Do lat 60. XX w. pozyskiwano tam kwas borowy, boraks, wodorowęglan sodu oraz siarkę. Koncepcja, że minerały kruszcowe tworzą się w systemach geotermalnych, sięga czasów Agricoli (1556). W 1977 r. na półwyspie Reykjanes na Islandii uruchomiono pilotową instalację do pozyskiwania NaCl z wód geotermalnych, w 1983 r. rozpoczęto jej produkcję na skalę przemysłową, a kilka lat później pozyskiwano tam także CO₂, w tym w postaci suchego lodu (Sapińska-Śliwa i in., 2016).

Wody geotermalne są niekiedy okruszczowane metalami, w tym metalami szlachetnymi, które mogą być przedmiotem eksploatacji. Jednym z większych odkryć tego typu jest termalne, siarczkowe złożo złota na wyspie Lichir w Papui Nowej Gwinei (Moyle i in., 1990). Wody geotermalne zawierające miedź, srebro i złoto występują m.in. w Nowej Zelandii w Ohaaki i Kawerau, ok. 100 km na NE od Taupo (Brown, 1986; Boyle, 1979), a także w prowincji Yunan w Chinach oraz Iranie (złożo Agdarreh, Takab, ok. 300 km na NW od Teheranu). Interesującym przykładem są też wysoko zmineralizowane wody geotermalne eksploatowane w pobliżu jeziora Salton Sea w USA (przy granicy z Meksykiem). W 2002 r. uruchomiono tam pilotową instalację do pozyskiwania cynku, która działała do 2004 r.

Substancją mineralną pozyskiwaną z wód i par geotermalnych na skalę przemysłową jest także krzemionka (SiO₂), w szczególności w stanie koloidalnym. Przemysłowa produkcja krzemionki z płynów geotermalnych jest prowadzona w Nowej Zelandii, Japonii, Rosji, USA i Islandii oraz na mniejszą skalę w innych krajach (Bourcier i in., 2005). Krzemionka znajduje szerokie zastosowanie w przemyśle spożywczym (jako osuszacz i środek przeciwbrylający), w produkcji materiałów ściernych, przemyśle chemicznym (jako wypełniacz tworzyw sztucznych, papieru, farb i opon), a także do produkcji światłowodów i katalizatorów oraz jako surowiec do produkcji krzemu półprzewodnikowego, a także w kosmologii. Jest także pozyskiwana z wód geotermalnych jako surowiec uboczny.

Krzemionka jest też przewodnim tematem marketingu *Blue Lagoon* na Islandii – dużego ośrodka rekreacyjnego typu SPA, oddalonego o ok. 40 km na zachód od Reykjavíku. Woda wypełniająca niecki kąpielowe jest produktem utylizacji wód geotermalnych wykorzystywanych uprzednio w elektrowni *Svartsengi*. Na bazie tej samej wody geotermalnej powstała marka kosmetyków *Blue Lagoon Skincare*. Woda geotermalna pochodząca z elektrowni *Hellisheidi*, zawierająca znaczne ilości krzemionki, jest wykorzystywana do wytwarzania serii produktów spożywczych, głównie napojów, reklamowanych jako suplementy zrównoważonej diety, które są sprzedawane pod marką *GeoSilica*.

Nadmiar krzemionki w płynach geotermalnych jest jednak najczęstszym powodem występowania problemów technicznych w systemach eksploatacyjno-zatłaczających. Problemy z dużą zawartością krzemionki narastają podczas znacznych przepływów płynów złożowych, do których dochodzi w trakcie eksploatacji wysokotemperaturowych złóż wód lub też par geotermalnych, m.in. w: USA, Kenii, na Islandii oraz Nowej Zelandii, gdzie krzemionka jest uznawana za jeden z głównych czynników scalingu i korozji systemów geotermalnych.

Solanki geotermalne mogą być stosowane do nawadniania upraw, celów przemysłowych i komunalnych. Odsalanie wód podziemnych, w tym termalnych, jest także sposobem otrzymywania wody przeznaczonej do spożycia. Jedną z głównych przyczyn rozwoju procesów uzdatniania wód, w tym odsalania, są niedobory wody słodkiej, które występują w ponad 20 krajach świata, głównie w rejonie Bliskiego Wschodu oraz północnej Afryki (Tomaszewska i in., 2018). Do odsalania wód wykorzystuje się procesy odwróconej osmozy, elektrodializy, destylacji i wymrażania. Największe znaczenie w otrzymywaniu wody do spożycia i na potrzeby gospodarce mają procesy odsalania polegające na separacji termicznej i membranowej (El-Desouky, Ettouney, 2000; Tsiourtis, 2001; Tomaszewska i in., 2018). Procesy odsalania są energochłonne, z tego względu mogą mieć ekonomiczne uzasadnienie w krajach, gdzie koszt energii elektrycznej jest stosunkowo niski.

Za sprawą światowego rozwoju nowych technologii w ostatnich latach szczególną rolę zaczęto przywiązywać do pierwiastków ziem rzadkich (REE). Znajdują one zastosowanie w wielu technologiach wykorzystywanych zarówno do celów cywilnych, jak i militarnych. Pierwiastki te odgrywają kluczową rolę w segmencie tzw. zaawansowanych technologii. Ponad 80% REE na rynku światowym pochodzi z Chin, co stwarza istotny problem w dostępności innych państw do tych surowców. Chiny pokrywają nawet do 99% zapotrzebowania krajów Unii Europejskiej na 29 pierwiastków znajdujących się na liście pierwiastków krytycznych (https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en). W zaistniałej sytuacji gospodarczo-politycznej poszukiwania niekonwencjonalnych złóż surowców krytycznych, w tym złóż geotermalnych, wydaje się być priorytetem działań Komisji Europejskiej.

Spośród 29 surowców uznanych za krytyczne dla UE, w wodach termalnych w ilościach przemysłowych występuje jedynie lit (Lewicka i in., 2021). Lit jest wykorzystywany m.in. jako dodatek do szkła i ceramiki żaroodpornej, wytrzymałych stopów stosowanych m.in. w lotnictwie, do produkcji ogniw litowych oraz akumulatorów litowo-jonowych, a także jako składnik smarów. Dotychczasowe

wyniki badań wskazują, że w Europie największe koncentracje litu występują w wodach geotermalnych w dolinie górnego Renu, wzdłuż granicy niemiecko-francuskiej (150–200 mg/dm³). Możliwość pozyskiwania litu z solanek potwierdziły także wstępne wyniki badań w rejonie jeziora Salton Sea w Kalifornii (USA), a także w Kornwalii (Wielka Brytania).

Na początku 2021 r. francuskie przedsiębiorstwo *Eramet* (<https://www.eramet.com/en>) we współpracy z *Electricité de Strasbourg* przeprowadziło udaną próbę pozyskania litu z solanek geotermalnych eksploatowanych w rejonie elektrowni geotermalnej *Rittershoffen* (północna Alzacja). *Eramet* wykorzystuje opatentowany proces bezpośredniej ekstrakcji litu, opracowany w ramach projektu *Centenario Lithium*. Technologia jest rozwijana w ramach strategicznego projektu *European Geothermal Lithium Brine (EuGeLi)* – <https://www.eramet.com/en/activities/innovate-design/eugeli-project>), przez konsorcjum: *Eramet*, *BRGM*, *IFPEN* i *BASF*, finansowane ze środków UE. Celem projektu *EuGeLi* jest eksploatacja solanek geotermalnych i ekstrakcja litu w rejonie basenu francusko-niemieckiego. Innym przedsięwzięciem realizowanym w dolinie górnego Renu w Niemczech jest projekt firmy *Vulcan Energy* pn. *Zero Carbon Lithium* (<https://v-er.eu>). *Vulcan Energy* ma ambicje produkcji litu o wysokiej jakości (klasy premium) do zastosowań w bateriach. Prace nad ekstrakcją litu z wód geotermalnych są także prowadzone w: USA, Kanadzie, Nowej Zelandii, Kenii oraz Chile.

Poszukiwania nowatorskich rozwiązań w dziedzinie pozyskiwania litu z solanek geotermalnych wpisują się w strategię dekarbonizacji i elektromobilności Unii Europejskiej. Strategia zwiększenia pozyskania litu opracowana pod egidą EGEC zakłada, że do 2030 r. 25% zapotrzebowania na lit do baterii wykorzystywanych w Unii Europejskiej będzie pochodziło ze złóż geotermalnych (Garabetian, 2020).

GLÓWNE KIERUNKI ROZWOJU GEOTERMII NA ŚWIECIE I W EUROPIE

Wykorzystanie energii geotermalnej sprzyja zrównoważonemu rozwojowi gospodarczemu i energetycznemu (szczególnie krajów słabo rozwiniętych), realizacji koncepcji niskoemisyjnej gospodarki oraz wzrostowi efektywności energetycznej. Zasoby geotermalne zwiększają też lokalne bezpieczeństwo energetyczne, a w niektórych przypadkach mogą zmniejszyć negatywne skutki braku dostępu do kopalnych surowców energetycznych – ograniczają tym samym uzależnienie gospodarek od dostępu do tych surowców.

W Europie zaznacza się tendencja do wdrażania ogrzewania i chłodzenia obiektów infrastrukturalnych zarządzanych przez gminy z zastosowaniem odnawialnych źródeł energii. W Europie Zachodniej duży nacisk jest kładziony w szczególności na budowę nowych systemów geotermalnych, w tym instalację gruntowych pomp ciepła, które powoli wypierają instalacje gazowe. W Europie Wschodniej, gdzie wciąż przeważają wysokotemperaturowe sieci ciepłownicze, główny nacisk kładzie się na modernizację infrastruktury, w związku z tym projekty geotermalne często muszą być konkurencyjne w odniesieniu do rozwiązań wykorzystujących jako pali-

wo gaz ziemny. Dodatkowym utrudnieniem jest fakt, że w dotychczasowych strategiach politycznych silny nacisk położono na walkę z ubóstwem energetycznym, wspierając na etapie inwestycyjnym prostsze i tańsze rozwiązania technologiczne polegające na spalaniu gazu ziemnego.

Od 2014 r. Europejska Rada ds. Energii Geotermalnej (EGEC) corocznie przyznaje *Europejską Nagrodę im. Ruggero Bertaniego za Innowacje Geotermalne*. Nagroda ta jest przyznawana firmom, które wniosły wybitny wkład w rozwój geotermii, na przykład w postaci innowacyjnych produktów lub wyjątkowo ciekawych projektów badań naukowych. Nominacje i nagroda są wyrazem uznania za oryginalność, innowacyjność rozwiązań technicznych i technologicznych z uwzględnieniem kwestii środowiskowych (<https://www.egec.org/european-geothermal-innovation-award>). W 2021 r. spośród 15 zgłoszeń wyłoniono 6 finalistów. Nominację do nagrody uzyskały: *AIMEN Technology Center* (Hiszpania), *ENGIE Solutions & Antea Group* (Francja), *EuGeli* (Francja), *Hunosa* (Hiszpania), *MegaWatt Solutions Nordic AB* (Szwecja), *ON Power* (Islandia) (<https://www.egec.org/find-out-europes-six-most-innovative-geothermal-projects-of-2020>).

Podsumowując, należy stwierdzić, że w nadchodzących latach jest spodziewany dalszy rozwój wykorzystania energii geotermalnej na świecie i w Europie, w tym m.in.:

- rozwój wykorzystania gruntowych pomp ciepła, zwiększanie efektywności dolnego źródła ciepła, nowe technologie wierceń, szersze udostępnienie informacji dotyczących potencjału geotermicznego, np. projekt *GeoPLASMA-CE*, i mapowanie potencjału płytkiej geotermii (Goetzl i in., 2020; Hajto, Papiernik, 2020; Hajto i in., 2020);

- budowa nowych systemów *GeoDH* oraz optymalizacja pracy istniejących;

- wykorzystanie zasobów niskiej entalpii do skojarzonej produkcji prądu i ciepła (instalacje CHP – *combined heat and power*) w technologii systemów binarnych, w tym np. z wykorzystaniem modułowych instalacji typu *Climeon* – <https://climeon.com/geothermal-plants>;

- rozwój technologii *Enhanced (Engineered) Geothermal Systems* (EGS), w tym systemy CO₂-EGS, np. projekt *EnerGizerS* – <http://www.energizers.agh.edu.pl>;

- rozwój technologii *Advanced Geothermal Systems* (AGS), która w dużym uproszczeniu polega na wykorzystaniu ciepła górotworu poprzez wykonanie systemu horyzontalnie połączonych otworów (tzw. głębokiej pętli). Idea systemu AGS przypomina konstrukcję poziomego wymiennika ciepła w układach pracujących z pompą ciepła, np. projekt *Eavor* – <https://eavor.com>. Technologia zamkniętego systemu geotermalnego, wykorzystująca zespół pionowych i poziomych otworów działających na zasadzie termosyfonu;

- wykonywanie głębokich wierceń w celu wykorzystania płynów w stanie nadkrytycznym w ekstremalnych temperaturach powyżej 375°C i pod wysokim ciśnieniem, w celu zmaksymalizowania wydajności energetycznej odwiertu, np. projekt *Iceland Deep Drilling* – <https://iddp.is>, koncepcja systemu *Magma-EGS*;

- optymalizacja kosztów wiercenia poprzez opracowanie holistycznych technologii wiercenia, projekt *GEODRILL* – <https://www.geodrillproject.eu>;

□ rozwój nowatorskich technik wiercenia, w tym przy użyciu plazmy, np. projekt *PLASMABIT® (GA Drilling)* – <https://www.gadrilling.com/plasmabit>;

□ opracowywanie wysokowydajnych, innowacyjnych materiałów i powłok w celu zwiększenia wydajności i trwałości elementów instalacji, np. projekt *Geo-coat* – <https://www.geo-coat.eu>;

□ odzysk metali oraz substancji mineralnych, w tym: uzdatnianie wód geotermalnych, odzysk: SiO₂, Na, K, Ca, Mg i innych; odzysk pierwiastków krytycznych, w tym litu, np. projekt *EuGeLi* – <http://www.eramet.com/en/activities-innovate-design/eugeli-project>; projekt *Zero Carbon Lithium (Vulcan Energy)* – <https://v-er.eu>; Raport EGEC – <https://www.egec.org/time-to-invest-in-clean-geothermal-lithium-made-in-europe>;

□ rozwój technologii składowania CO₂ i innych kwaśnych gazów w złożach geotermalnych, np. projekt *CarbFix* – <https://www.carbfix.com>.

Artykuł przygotowano w ramach realizacji pracy statutowej AGH nr 16.16.140.315/05.

LITERATURA

AGRICOLA G. 1556 – De Re Metallica. Translated from the first latin edition of 1556. Produced by Farmer M., Sentoff S.H. and the online distributed proofreading team at <https://www.pgdp.net>. <https://www.gutenberg.org/files/38015/38015-h/38015-h.htm>

BERTANI R. 2005 – World Geothermal Generation 2001–2005: State of the Art. Proceedings World Geothermal Congress 2005, Turkey, Antalya: 19; <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2005/0008.pdf>

BERTANI R. 2010 – Geothermal Power Generation in the World 2005–2010. Update Report. Proceedings World Geothermal Congress 2010, Indonesia, Bali: 41; <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2010/0008.pdf>

BERTANI R. 2015 – Geothermal Power Generation in the World 2010–2014. Update Report. Proceedings World Geothermal Congress 2015, Australia – New Zealand: 19; <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2015/01001.pdf>

BOURCIER W.L., LIN M., NIX G. 2005 – Recovery of Minerals and Metals from Geothermal Fluids. 2003 SME Annual Meeting Cincinnati, OH, United States February 24, 2003 through February 26, 2003; <https://core.ac.uk/download/pdf/71314413.pdf>

BOYLE R.W. 1979 – The geochemistry of gold and its deposits. Canadian Geol. Surv. Bull., 280.

BROWN K.L. 1986 – Gold deposition from geothermal discharges in New Zealand. Economic Geol., 81 (4): 979–983.

DUMAS P., BARTOSIK A. 2014 – Geothermal DH Potential in Europe. European Geothermal Energy Council. GeoDH project report: D2.2 Geothermal DH Potential in Europe; <http://geodh.eu/wp-content/uploads/2014/11/GeoDH-Report-D-2.2-final.pdf>

EL-DESSOUKY H., ETTOUNEY H. 2000 – MSF developments may reduce desalination costs. Water and Waste Water Intern., 15 (3): 20–21.

GARABETIAN T. 2020 – Geothermal Lithium in Europe. An industrial strategy for the geothermal lithium battery value-chain. EGEC Report; https://www.egec.org/wp-content/uploads/2020/05/Geothermal-Lithium-paper_FINAL-Version.pdf

GARABETIAN T., DUMAS P., SERRANO C., MAZZAGATTI V., KUMAR S., DIMITRISINA R., RUAUD J., TRUONG C. 2020 – 2019 EGEC Geothermal Market Report. Key Findings; https://www.egec.org/wp-content/uploads/2020/06/MR19_KeyFindings_new-cover.pdf

GARABETIAN T., DUMAS P., SERRANO C., MAZZAGATTI V., KUMAR S., DIMITRISINA R., ERBANOVA H., KATECHI S. 2021 – 2020 EGEC Geothermal Market Report. Key Findings; https://www.egec.org/wp-content/uploads/2021/06/MR20_KF_Final.pdf

GOETZL G., DILGER G., GRIMM R., HOFMANN K., HOLECEK J., CERNAK R., JANZAM., KOZDRÓJ W., KLONOWSKI M., HAJTO M., GABRIEL P., GREGORIN S. 2020 – Strategies for Fostering the Use of Shallow Geothermal Energy for Heating and Cooling in Central Europe – Results from the Interreg Central Europe Project GeoPLASMA-CE. Proceedings of the World Geothermal Congress, Iceland, Reykjavik 2020+1.

HAJTO M. 2018 – Potencjał geotermalny Polski oraz możliwości adaptacji międzynarodowej klasyfikacji zasobów geotermalnych UNFC–2009. Nafta-Gaz, 74: 898–904.

HAJTO B., PAPIERNIK B. 2020 – The Approach to 3D Numerical Modeling in Order to Evaluate an Environmental Constraints and

Assessment of Shallow Geothermal Resources in Urban Areas on the Example of Krakow, Poland. Proceedings of the World Geothermal Congress, Iceland, Reykjavik 2020+1: 10.

HAJTO M., PRZELASKOWSKA A., MACHOWSKI G., DRABIK K., ZĄBEK G. 2020 – Indirect Methods for Validating Shallow Geothermal Potential Using Advanced Laboratory Measurements from a Regional to Local Scale – A Case Study from Poland. Energies 2020, 13 (20): 5515.

<http://www.energizers.agh.edu.pl>

<https://cire.pl>

<https://climeon.com/geothermal-plants>

<https://eavor.com>

https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en - tzw. czwarta lista pierwiastków krytycznych Unii Europejskiej

<https://globalatlas.irena.org> - Global Atlas for Renewable Energy 4.0

<https://iddp.is>

<https://tiny.pl/9x4sg>

<https://v-er.eu>

<https://www.carbfix.com>

<https://www.cire.pl/item>

<https://www.egec.org/european-geothermal-innovation-award>

<https://www.egec.org/time-to-invest-in-clean-geothermal-lithium-made-in-europe>

<https://www.eramet.com/en>

<https://www.eramet.com/en/activities-innovate-design/eugeli-project>

<https://www.eurelectric.org>

<https://www.gadrilling.com/plasmabit>

<https://www.geo-coat.eu>

<https://www.geodrillproject.eu>

HUTTRER G.W. 2020 – Geothermal Power Generation in the World 2015–2020. Update Report. Proceedings World Geothermal Congress 2020, Iceland: 17; <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2020/01017.pdf>

KĘPIŃSKA B. 2020 – Geothermal Energy Country Update Report from Poland, 2015–2019. Proceedings World Geothermal Congress 2020, Reykjavik, Iceland: 13.

LEWICKAE., GUZIK K., GALOS K. 2021 – On the Possibilities of Critical Raw Materials Production from the EU's Primary Sources. Resources, 10 (5): 50.

LUND J.W., TOTH A.N. 2020 – Direct Utilization of Geothermal Energy 2020. Worldwide Review. Proceedings World Geothermal Congress 2020, Iceland: 39; <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2020/01018.pdf>

MERTOGLU O., SIMSEK S., BASARIR N. 2020 – Geothermal Energy Use – Projections, Country Update for Turkey; <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2020/01049.pdf>

MOYLE A.J., DOYLE B.J., HOOGVLEIT H., WARE A.R. 1990 – Ladolam gold deposit, Lihir Island. [W:] Geology of the mineral deposits of Australia and Papua New Guinea. Hughes F.E. (red.), AUISMM Monograph, 2 (14): 1793–1806.

PORT PC 2019 – Raport rynkowy PORT PC: 2019. Rynek pomp ciepła w Polsce w latach 2010–2018. Perspektywy rozwoju rynku pomp ciepła do 2030 roku; https://portpc.pl/pdf/raporty/Raport_PORTPC_wersja-final_2019.pdf

PORT PC 2020 – Raport rynkowy PORT PC: 2020. Scenariusze elektryfikacji ogrzewania w budynkach jednorodzinnych w Polsce do 2030 roku. Rynek pomp ciepła w Polsce w latach 2010–2019. Perspektywy rozwoju rynku pomp ciepła do 2030 roku; http://portpc.pl/pdf/raporty/01-70_Raport_2020_P.pdf

RAGNARSSON Á.R., STEINGRÍMSSON B., THORHALLSSON S. 2020 – Geothermal Development in Iceland 2015–2019. Proceedings World Geothermal Congress 2020, Reykjavik, Iceland; <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2020/01063.pdf>

SAPIŃSKA-SŁIWA A., DUDEK M., WIŚNIEWSKI R., JASZCZUR M., SŁIWA T. 2016 – Pozyskiwanie surowców mineralnych z wód termalnych w Polsce. Przemysł Chem., 95 (8): 1524–1528.

TOMASZEWSKA B. 2013 – Utylizacja schłodzonych wód termalnych. Problemy i propozycje rozwiązań alternatywnych. Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój, 52 (1): 91–102.

TOMASZEWSKA B. (red.), BODZEK M., DENDYS M., KASZTELEWICZ A., KĘPIŃSKA B., MIECZNIK M., PAJĄK L., RAJCA M., TYSZER M. 2018 – Pozyskanie wód przeznaczonych do spożycia oraz cieczy i substancji balneologicznych w procesie uzdatniania wód geotermalnych. Wyd. IGSMiE PAN Kraków; <https://min-pan.krakow.pl/wydawnictwo/wp-content/uploads/sites/4/2019/09/Tomaszewska-2018-Pozyskanie.pdf>.

TSIOURTIS N.X. 2001 – Desalination and the environment. Desalination, 141: 223–236.

Praca wpłynęła do redakcji 25.06.2021 r.

Akceptowano do druku 6.08.2021 r.