

Rozwój sektora energii geotermalnej UE. Wykorzystanie potencjału pomp ciepła

Development of the EU geothermal energy sector Harnessing the potential of heat pumps

Maria Ciechanowska

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono stan wykorzystania energii geotermalnej w wybranych krajach UE w dwóch kierunkach: w procesie produkcji energii elektrycznej oraz do wytwarzania ciepła. W Polsce udział zainstalowanej mocy energii elektrycznej pochodzącej z energii geotermalnej wynosi zaledwie 0,27% mocy pozyskanej ze wszystkich źródeł OZE, zaś pozyskanie ciepła jest odpowiednio na poziomie 26,03%. Zwrócono uwagę, że zasoby geotermalne są użytkowane na różne sposoby i z różną intensywnością. W globalnym wykorzystaniu tej energii pierwsze miejsce zajmują geotermalne pompy ciepła. O ich wysokim potencjale wdrożeniowym decydują między innymi skala zastosowań i pozytywne opinie dotychczasowych użytkowników, dostępność rozwiązań technicznych w tym zakresie na całym rynku wewnętrznym UE, bogata oferta ze strony producentów pomp i instalatorów, często wzbogacona o możliwość współpracy z systemami fotowoltaicznymi czy magazynowaniem ciepła, a także możliwość uzyskania wsparcia finansowego inwestycji. Dopiero drugie miejsce w aspekcie wykorzystania energii geotermalnej zajmuje ciepłownictwo sieciowe. W tym przypadku koszty przedsięwzięcia niezwykle wzrastają w związku z koniecznością wykonania sieci otworów wiertniczych czy ze względu na ryzyko, jakie niesie ze sobą proces poszukiwań horyzontów geologicznych o pożądanym parametrach hydrotechnicznych i do tego w perspektywnym interwale czasowym. Zaprezentowano wieloletni program rozwoju wykorzystania zasobów geotermalnych w Polsce na lata 2022–2040, a w pewnych obszarach do roku 2050, opublikowany przez Ministerstwo Klimatu i Środowiska. W ramach realizacji tego programu ustanowiono między innymi projekt pod nazwą „Udostępnienie wód termalnych w Polsce” – dotyczący odwiercenia 15 otworów dla poszukiwania i rozpoznania wyżej wymienionych wód w najbardziej perspektywicznych rejonach kraju pod względem możliwości eksploatacji źródeł geotermii głębokiej. Przedstawiono priorytetowe programy dotacyjne ukierunkowane na rozwój ogrzewnictwa indywidualnego, cieszące się w Polsce bardzo dużym zainteresowaniem. W programach takich jak „Mój Prąd”, „Moje Ciepło”, „Czyste Powietrze” istnieje możliwość uzyskania dofinansowania ze środków unijnych, między innymi do instalowanych pomp ciepła. Omówiono prace badawcze zrealizowane w Instytucie Nafty i Gazu – Państwowym Instytucie Badawczym, między innymi w zakresie możliwości wykorzystania szczypanych złóż węglowodorów dla celów geotermalnych, biorąc pod uwagę możliwość zastosowania CO₂ jako nośnika energii geotermalnej w procesie jego sekwestracji. Zaprezentowano zagadnienia tworzenia numerycznych modeli obiektów geotermalnych, doboru odpowiednich receptur płuczek wiertniczych, zaczynów cementowych czy płynów eksploatacyjnych przy uwzględnieniu podwyższonych temperatur i ciśnień.

Słowa kluczowe: energia geotermalna, bilans energetyczny, pompy ciepła, fundusze europejskie.

ABSTRACT: The article presents the status of the use of geothermal energy in selected EU countries in two directions: in the process of electricity generation and for heat generation. In Poland, the percentage of installed geothermal power capacity is only 0.27% of the power obtained from all RES sources, while the percentage of obtaining heat is at 26.03%, respectively. It was noted that geothermal resources are used in different ways and with different intensities. In the global utilization of this energy, the first place is occupied by geothermal heat pumps. Their high deployment potential is determined, among other things, by the scale of their use and positive feedback from users to date, the availability of technical solutions in this field throughout the EU internal market, a rich offer from pump manufacturers and installers, often enriched by the possibility of combination with photovoltaic systems or heat storage, as well as the possibility of obtaining financial support for the investment. Only the second place in the aspect of the use of geothermal energy is occupied by district heating. In this case, the cost of the project increases tremendously due to the necessity of drilling a network of boreholes, or due to the risks involved in the process of searching for geological horizons with the desired hydrotechnical parameters and, in addition, in a prospective time interval. A multi-year program for the development of the use of geothermal resources in Poland for 2022–2040, and in certain areas until 2050, published by the Ministry of Climate and Environment, was presented. As part of the implementation of this program, among other things, a project called Making Thermal Waters Accessible in Poland was established

Autor do korespondencji: M. Ciechanowska, e-mail: maria.ciechanowska@inig.pl

Artykuł nadesłano do Redakcji: 29.08.2023 r. Zatwierdzono do druku: 03.04.2024 r.

with the aim of drilling 15 boreholes for the exploration and prospecting of the aforementioned waters in the most promising areas of the country in terms of the possibility of exploiting deep geothermal sources. Priority subsidy programs aimed at the development of individual heating, which are very popular in Poland, were presented. Programs such as *Mój Prąd* [My Electricity], *Moje Ciepło* [My Heat], *Czyste Powietrze* [Clean Air] offer the possibility of obtaining EU funding for, among other things, installed heat pumps. Research work carried out at the Oil and Gas Institute – National Research Institute was discussed, including the possibility of using depleted hydrocarbon deposits for geothermal purposes, taking into account the possibility of using CO₂ as a geothermal energy carrier in the process of its sequestration. Issues of creating numerical models of geothermal objects, selection of appropriate recipes for drilling muds, cement slurries or production fluids, taking into account increased temperatures and pressures were presented.

Key words: Geothermal energy, energy audit, heat pumps, European funds.

Wprowadzenie

Plan REPowerEU, przedstawiony przez Komisję Europejską w maju 2022 r. (Komisja Europejska, Przedstawicielstwo w Polsce, 2022), dotyczy działań, których realizacja powinna wpłynąć na ograniczenie zależności krajów członkowskich od rosyjskich paliw kopalnych. Plan ten stawia nacisk na szybsze zwiększenie udziału energii odnawialnej w bilansie energetycznym poszczególnych państw poprzez upowszechnienie energetyki słonecznej, wiatrowej i geotermalnej, co równocześnie będzie miało pozytywny wpływ na realizację celów środowiskowych i klimatycznych Europy.

Założenia tego planu obejmują między innymi:

- podwojenie potencjału fotowoltaicznego do roku 2025 i zainstalowanie 600 GW energii elektrycznej do roku 2030, a także wprowadzenie obowiązku instalowania paneli słonecznych w nowych budynkach publicznych, handlowych, jak i mieszkalnych;
- podwojenie tempa rozmieszczania pomp ciepła (włączenie energii geotermalnej i słonecznej termicznej do zmodernizowanych lokalnych systemów grzewczych).

Obie technologie, związane zarówno z fotowoltaiką, jak i pompami ciepła, są rozwiązaniami dojrzałymi, sprawdzonymi poprzez ich praktyczne wdrożenie w wielu krajach w szerokim zakresie. Są to cechy niezwykle istotne przy rozszerzaniu ich stosowalności na nowe lokalizacje.

Prace badawczo-rozwojowe w zakresie technologii geotermalnych, dotyczące zarówno głębokich, jak i płytkich źródeł energii, były i są obecnie prowadzone przez wiele ośrodków naukowych i konsorcjów naukowo-przemysłowych, zarówno europejskich, azjatyckich czy amerykańskich. Projekty UE są realizowane przy wsparciu ze środków unijnych i merytorycznie obejmują między innymi pełne spektrum badań nad energią geotermalną, zarządzanie emisją gazów w elektrowniach geotermalnych, nowe technologie wiercenia otworów geotermalnych i monitorowania ich pracy czy innowacyjne rozwiązania dla powszechniejszego wykorzystania źródeł geotermalnych do wytwarzania energii elektrycznej i ciepła. Zakłada się, że prace te pozwolą na szybsze i efektywne wprowadzenie energii geotermalnej jako alternatywnego źródła

do bilansu energetycznego poszczególnych krajów członkowskich, przyspieszając równocześnie proces transformacji energetycznej (Nowoczesne Ciepłownictwo, 2020; Świat OZE, 2022).

Stan wykorzystania energii geotermalnej w wybranych krajach europejskich

Energia, jaką generuje Ziemia, pochodzi:

- z jej wnętrza, w którym temperatura przekracza 5000°C;
- z rozpadu pierwiastków promieniotwórczych zawartych w skałach budujących Ziemię, w towarzyszącej im substancji organicznej oraz w płynach złożowych wypełniających przestrzeń porową; ilość ciepła radiogenicznego emitowanego przez ośrodek skalny określana jest na podstawie zawartości uranu, toru i potasu, pochodzących z trzech rodzin promieniotwórczych: U-238, U-235, Th-232 oraz izotopu potasu K-40, przy uwzględnieniu gęstości skały (Ciechanowska i Gąsior, 2000);
- z ciepła przekazywanego przez Słońce do powierzchniowych warstw Ziemi.

Dostęp do energii geotermalnej jest możliwy w różnych warunkach geologicznych i geograficznych świata. Uprzywilejowane pod tym względem są obszary o podwyższonej aktywności wulkanicznej, występujące między innymi w strefach: kolizji płyt litosfery, grzbietów śródoceanicznych, ryftów kontynentalnych, a także jako tak zwane hot spoty wewnątrz płyt litosfery. Kraje obejmujące swym zasięgiem te obszary mogą korzystać z bardzo bogatych zasobów tej energii, generalnie łatwiej dostępnej, czego przykładem w Europie może być między innymi Islandia.

A zatem wielkość możliwej do pozyskania energii geotermalnej jest praktycznie nieograniczona i niezależna od pory roku i pogody. Na obecnym etapie ilościowo zdecydowanie ustępuje ona energii pozyskanej z innych źródeł odnawialnych, ale może być dla nich uzupełnieniem i bardzo ciekawą alternatywą, by zapewnić stabilność i niezawodność przesyłu w sieciach energetycznych, a także by wesprzeć dążenia Europy do neutralności pod względem emisji CO₂ do 2050 r.

Analizę danych pod kątem wykorzystania energii geotermalnej w bilansie energetycznym poszczególnych krajów przeprowadzono dla 21 członków UE. Dane te, pochodzące z lat 2020–2021, zaczerpnięto z bazy The International Renewable Energy Agency. Analizę przeprowadzono w dwóch kierunkach wykorzystania energii geotermalnej:

- do produkcji energii elektrycznej;
- do wytwarzania ciepła – bezpośrednio z energii geotermalnej, jak i w procesie wysokosprawnej kogeneracji.

Energia geotermalna w procesie produkcji energii elektrycznej

Ważnym pośrednim sposobem wykorzystania energii geotermalnej jest jej użycie do produkcji energii elektrycznej. Sumaryczna zainstalowana moc energii elektrycznej pochodzącej ze źródeł odnawialnych, P_{OZE} [MW], dla wybranych 21 krajów w roku 2021 wyniosła 604 599 MW, przy czym:

- z energii słonecznej: 174 661 MW (28,89%);
- z energii wiatru: 212 575 MW (35,16%);

- z energii wodnej: 175 490 MW (29,03%);
- z bioenergii: 40 225 MW (6,65%);
- z energii geotermalnej: 1 648 MW (0,27%).

Do krajów wykorzystujących energię geotermalną do produkcji energii elektrycznej należą: Włochy (802 MW), Islandia (756 MW), Niemcy (40 MW), Portugalia (29 MW), Francja (16 MW), Węgry (3 MW) oraz Austria i Rumunia (po <1 MW). Pod względem zainstalowanej mocy energii wyróżniają się Włochy i Islandia (tabela 1).

Należy podkreślić, że procent udziału energii geotermalnej w wyżej wymienionym miksie energetycznym OZE dla 21 krajów jest bardzo niski i wynosi zaledwie 0,27%, ale jest on jeszcze niższy w odniesieniu do całkowitej zainstalowanej mocy elektrycznej, pochodzącej zarówno ze źródeł odnawialnych, jak i nieodnawialnych – i wynosi 0,15% (przy $P = 1\,084\,659$ MW).

Aby móc odnieść dane z krajów europejskich do danych pochodzących z różnych regionów świata, w tabeli 2 zamieszczono wielkości zainstalowanej mocy energii elektrycznej pozyskanej z energii geotermalnej, P_{GEO} [MW], w okresie dwudziestoletnim, tj. od roku 2000 do 2020. Celem tego zestawienia było

Tabela 1. Zainstalowana moc energii elektrycznej pochodzącej ze źródeł energii odnawialnej, P_{OZE} [MW], dla wybranych krajów europejskich w roku 2021 (dane źródłowe: The International Renewable Energy Agency)

Table 1. Installed RES power capacity, P_{RES} [MW] for selected European countries, in 2021 (source data: The International Renewable Energy Agency)

Kraj	Zainstalowana moc energii elektrycznej z OZE, P_{OZE} [MW]					ΣP_{OZE} [MW]	ΣP [MW]
	energia słoneczna	energia wiatrowa	energia wodna	bioenergia	energia geotermalna		
Włochy	22 698	11 276	22 712	3 439	802	60 927	116 984
Islandia	–	2	2 114	–	756	2 872	2 953
Niemcy	58 461	63 760	10 653	10 449	40	143 363	228 350
Portugalia	1 711	5 248	7 241	741	29	14 970	21 237
Francja	14 508	18 676	25 924	1 939	16	61 063	139 079
Chorwacja	108	988	2 201	145	10	3 452	4 854
Węgry	2 131	321	58	509	3	3 022	10 708

Objaśnienia: ΣP_{OZE} – zainstalowana moc energii elektrycznej pochodzącej z energii odnawialnych [MW]; ΣP – zainstalowana moc energii elektrycznej pozyskana z energii odnawialnej, jak i nieodnawialnej [MW].

Tabela 2. Zainstalowana moc energii elektrycznej pochodzącej z energii geotermalnej, P_{GEO} [MW], w latach 2000–2020 w różnych rejonach świata (dane źródłowe: The International Renewable Energy Agency)

Table 2. Installed geothermal power capacity, P_{GEO} [MW] in the years 2000–2020 in different regions of the world (source data: The International Renewable Energy Agency)

Region	P_{GEO} [MW] / w roku				
	2000	2005	2010	2015	2020
Cały świat	8 236	8 568	10 235	12 091	14 438
Ameryka Północna	3 648	3 245	3 370	3 448	3 621
Azja	2 927	3 254	3 597	3 896	4 540
Europa	776	918	1 336	1 503	1 627
Afryka	65	135	205	626	870

Tabela 3. Zainstalowana moc energii elektrycznej pochodzącej z energii geotermalnej, P_{GEO} [MW], w wybranych krajach w roku 2021 (dane źródłowe: The International Renewable Energy Agency)

Table 3. Installed geothermal power capacity, P_{GEO} [MW] for selected countries, in 2021 (source data: The International Renewable Energy Agency)

Kraj	P_{GEO} [MW]
Europa	
Włochy	802
Islandia	756
Niemcy	40
Portugalia	29
Francja	16
Chorwacja	10
Węgry	3
Poza Europą	
USA	3 889
Indonezja	2 277
Filipiny	1 928
Turcja	1 676
Meksyk	976
Kenia	863
Japonia	481

prześledzenie, czy w poszczególnych rejonach geograficznych wdrożenie tej technologii nosi znamiona rozwoju, stagnacji czy recesji. Otóż przyrost mocy, P_{GEO} , liczony w 2020 r. w odniesieniu do roku 2000 wynosił dla całego świata 75,3%, dla Azji – 55,1%, zaś dla Europy – 109,7%. W Ameryce Północnej zarejestrowano niewielki spadek P_{GEO} , zaś w przypadku Afryki – istotny wzrost związany z wdrożeniem tej technologii w Kenii.

W tabeli 3 zestawiono wartości mocy zainstalowanej, P_{GEO} , dla 7 krajów europejskich najbardziej zaangażowanych w wykorzystanie energii geotermalnej oraz dla 7 krajów pozaeuropejskich. Na tym tle Europa wypada niestety słabo.

Należy jednak zwrócić uwagę, że największą moc zainstalowaną energii elektrycznej wykazują kraje charakteryzujące się bardzo korzystnymi warunkami geotermalnymi, w których instalacje zlokalizowano na terenach o znacznej aktywności wulkanicznej (np. USA, Indonezja, Filipiny).

Istniejące elektrownie geotermalne pracują generalnie w trzech różnych systemach technologicznych przemiany energii cieplnej na elektryczną:

- w systemie bezpośrednim (para nasycona sucha);
- w systemie pośrednim (para mokra, z rozprężaniem płynu geotermalnego w układach 1-, 2- lub 3-stopniowych);
- w systemie binarnym (z udziałem czynnika pośredniczącego).

Z analizy elektrowni geotermalnych zestawionych według rodzaju i mocy zainstalowanej przeprowadzonej przez Stachela

i Sołtysik (2017) wynika, że w Europie w 2015 r. pracowało łącznie 2132 elektrownie, w tym 795 w systemie bezpośrednim, 1069 – w systemie pośrednim oraz 268 – w systemie binarnym. Najbardziej efektywnymi, biorąc pod uwagę moc wytworzonej energii i średnią produkcję przypadającą na jedną jednostkę wytwórczą, są elektrownie w systemie bezpośrednim (45,4 MW/inst.), zaś w przypadku elektrowni binarnych moc ta wynosi 6,3 MW/inst. Problem jednak tkwi w tym, że złoża pary suchej stanowią jedynie około 5% całkowitych zasobów geotermalnych świata.

Energia geotermalna w procesie pozyskiwania ciepła

Proces pozyskiwania ciepła z energii OZE, w tym z energii geotermalnej, można rozpatrywać w dwóch wariantach, jako:

- bezpośrednie wykorzystanie energii OZE do produkcji ciepła;
- pozyskanie ciepła w wyniku wysokosprawnej kogeneracji przy użyciu energii OZE.

Do analizy wytypowano 11 krajów europejskich, wymienionych w tabeli 4, w których wykorzystuje się energię geotermalną do produkcji ciepła. Dane źródłowe pochodzą z roku 2020.

Ilość ciepła pozyskanego ze wszystkich źródeł OZE wynosiła 143 188 TJ, przy czym składowe przedstawiały się następująco:

- z energii słonecznej: 2 777 TJ (1,94%);
- z biopaliw:
 - stałych: 99 441 TJ (69,45%),
 - ciekłych: 105 TJ (0,07%),
 - gazowych: 820 TJ (0,57%);
- z energii geotermalnej: 37 273 TJ (26,03%);
- z innych źródeł OZE: 2 772 TJ (1,94%).

Biorąc pod uwagę wszystkie kraje europejskie, w roku 2020 tylko 11 z nich wykorzystywało energię geotermalną do pozyskiwania bezpośrednio ciepła (tabela 4) i tylko jeden kraj – Islandia – do otrzymywania ciepła w procesie wysokosprawnej kogeneracji (tabela 5).

Najwięcej ciepła bezpośrednio z energii geotermalnej pozyskiwane jest w Europie w Islandii (24 104 TJ), a następnie we Francji (6 751 TJ), na Węgrzech (2 772 TJ) i w Niemczech (1 713 TJ).

Sumaryczna ilość ciepła otrzymywanego w procesie wysokosprawnej kogeneracji w wyżej wymienionych 11 krajach wyniosła 226 163 TJ, przy czym udział składowych energii odnawialnych był następujący:

- z biopaliw:
 - stałych: $H = 187 104$ TJ,
 - ciekłych: $H = 2 510$ TJ,
 - gazowych: $H = 25 076$ TJ;
- z energii geotermalnej: $H = 11 413$ TJ (Islandia).

Tabela 4. Ciepło wygenerowane ze źródeł odnawialnych (H_{OZE}) w krajach europejskich w roku 2020 (dane źródłowe: The International Renewable Energy Agency)

Table 4. Heat generated from renewable sources (H_{RES}) in European countries, in 2020 (source data: The International Renewable Energy Agency)

Kraj	Ilość ciepła pozyskanego H_{OZE} [TJ]						ΣH [TJ]	H_{GEO}/H_{Σ} [%]
	energia słoneczna	biopaliwa			energia geotermalna	inna energia odnawialna		
		stałe	ciekłe	gazowe				
Islandia	–	–	–	–	24 104	–	25 072	96,14
Francja	–	26 903	–	65	6 751	1 347	70 745	9,54
Węgry	–	1 333	–	–	2 772	–	27 640	10,03
Niemcy	13	17 003	25	443	1 713	–	103 682	1,65
Włochy	8	4 038	11	3	872	–	15 432	5,65
Austria	91	25 611	–	53	515	–	34 186	1,51
Rumunia	–	869	–	108	255	–	15 291	1,67
Słowacja	2	1 721	–	38	181	9	9 722	1,86
Belgia	–	3	–	–	68	–	205	33,17
Dania	2 663	21 469	69	110	23	1 416	39 719	0,06
Słowenia	–	491	–	–	19	–	1 710	1,11

Objaśnienia: ΣH – całkowita ilość ciepła pozyskanego ze źródeł odnawialnych (H_{OZE}), jak i nieodnawialnych [TJ]; H_{GEO} – ciepło z energii geotermalnej [TJ]

W miksie energetycznym obejmującym źródła OZE i nieodnawialne udział energii geotermalnej przy technologii kogeneracji jest na poziomie 1,28%.

Wykorzystanie potencjału pomp ciepła

Należy wspomnieć, że zasoby geotermalne są pośrednio lub bezpośrednio użytkowane w świecie na różne sposoby (Kępińska, 2016; Hajto, 2021), w tym między innymi:

- w ciepłownictwie, z zastosowaniem głębokiej geotermii;
- w gruntowych pompach ciepła, do ogrzewania i chłodzenia, a także do przygotowywania ciepłej wody użytkowej;
- w rekreacji i balneoterapii;
- do ogrzewania szklarni;
- do suszenia produktów rolnych, drewna, mączki rybnej;
- do hodowli wybranych rodzajów organizmów wodnych, grzybów;
- do fermentacji ścieków i rozkładu biomasy;
- do odzysku substancji mineralnych z płynów geotermalnych oraz pierwiastków krytycznych (np. litu).

To użytkowanie, wykorzystujące w swych procesach technologicznych ciepło płynów geotermalnych, ma różną intensywność (Hajto, 2021):

- pierwsze miejsce w globalnym wykorzystaniu tej energii zajmują geotermalne pompy ciepła (zainstalowana moc geotermalna $M = 77,547$ GWt);
- drugie miejsce – ciepłownictwo ($M = 12,768$ GWt);
- trzecie miejsce – rekreacja i balneoterapia ($M = 12,253$ GWt).

Tabela 5. Ciepło wytworzone w procesie wysokosprawnej kogeneracji przy wykorzystaniu energii OZE dla krajów europejskich w roku 2020 (dane źródłowe: The International Renewable Energy Agency)

Table 5. Heat generated by high-efficiency cogeneration using RES energy for European countries, in 2020 (source data: The International Renewable Energy Agency)

Kraj	Ilość ciepła H_{OZE} [TJ]				ΣH [TJ]
	biopaliwa			energia geotermalna	
	stałe	ciekłe	gazowe		
Islandia	–	–	–	11 413	11 413
Francja	34 990	–	3 111	–	79 389
Węgry	3 002	–	130	–	20 431
Niemcy	43 021	140	17 231	–	323 481
Włochy	22 505	2 379	474	–	213 478
Austria	17 291	–	181	–	49 817
Rumunia	2 542	–	53	–	43 798
Słowacja	3 756	–	686	–	25 462
Belgia	1 778	31	886	–	29 277
Dania	57 056	–	2 138	–	84 172
Słowenia	1 163	20	186	–	7 463

Objaśnienia: ΣH – całkowita ilość ciepła pozyskanego w procesie wysokosprawnej kogeneracji – przy wykorzystaniu źródeł OZE i nieodnawialnych [TJ]

Moc każdego z pozostałych obszarów zastosowań: $M < 2,5$ GWt.

O pierwszym miejscu przypadającym geotermalnym pompom ciepła decyduje przede wszystkim skala zastosowań / liczba instalowanych pomp (a pośrednio także sprawdzona

technologia i małe ryzyko). W przypadku ciepłownictwa koszty przedsięwzięcia niezwykle wzrastają w zależności od głębokości eksploatacji nośnika. Koniecznością jest wykonanie sieci otworów wiertniczych. Proces ten wiąże się z ponoszeniem dodatkowych kosztów fazy poszukiwań, jak i ubezpieczeń od ryzyk technicznych i gospodarczych, związanych z otrzymaniem i utrzymaniem w dłuższej perspektywie czasowej pożądaných parametrów hydrotermalnych. Stąd powszechnie stosowaną praktyką jest podjęcie przez dane państwo działań legislacyjnych czy ubezpieczeniowych, jak i wspieranie finansowe prac rozpoznawczych w zakresie głębokiej geotermii.

Dane dotyczące pomp ciepła ujęte w raporcie przygotowanym przez Polską Organizację Rozwoju Technologii Pomp Ciepła również wskazują, że w odniesieniu do roku 2022 liczba sprzedanych pomp ciepła typu powietrze / woda wyniosła 188,2 tys. sztuk, zaś gruntowych pomp ciepła – 7,2 tys. sztuk. I chociaż liczba przyłączonych do sieci energetycznej instalacji fotowoltaicznych jest wielokrotnie większa od liczby pomp ciepła, to działania podejmowane w zakresie dofinansowania, jak i promocji pomp spowodują dalszy ich rozwój. Tym bardziej że w szeregu ośrodków badawczych prowadzone są prace nad udoskonaleniem pomp ciepła, między innymi poprzez zwiększenie ich mocy.

Istotną rolę w popularyzacji tej techniki odegrały między innymi następujące czynniki:

- pozytywne opinie użytkowników tych pomp, przy szerokim ich zastosowaniu między innymi w Szwecji czy w Niemczech;
- możliwość uzyskania dofinansowania do takiej inwestycji;
- bogata kompleksowa oferta dotycząca pomp ciepła zarówno ze strony producentów, jak i instalatorów; niejednokrotnie wzbogacona o współpracę z systemami fotowoltaicznymi czy magazynowania ciepła;
- dostępność najnowszych rozwiązań technicznych i technologicznych w tym zakresie na całym rynku wewnętrznym UE. Szereg organizacji europejskich wspiera plan REPowerEU w tym zakresie, między innymi:
- Europejska Rada Energii Geotermalnej (EGEC), reprezentująca przemysł geotermalny, podjęła szereg ciekawych inicjatyw (Świat OZE, 2022), z których można wymienić np.:
 - udzielenie bezpośredniego wsparcia dla utworzenia 1000 miast geotermalnych w Europie,
 - projekt „Akcelerator pomp ciepła”, który wiąże się z opracowaniem kompleksowego planu działania branży i kompleksowego programu wsparcia dla rozwoju technologii pomp ciepła.

Projekt ten, noszący nazwę „Akcelerator #Prawodocięła”, ma na celu przyspieszenie transformacji energetycznej poprzez system szkoleń obejmujący cały

łańcuch technologiczny od produkcji pomp ciepła, po ich instalację, a także wspieranie badań i rozwoju, by zapewnić możliwość skutecznego, ekonomicznie opłacalnego rozwiązania instalacji w różnych budynkach indywidualnych/zbiorowych/przemysłowych czy w zróżnicowanych strefach klimatycznych.

- Europejskie Stowarzyszenie Pomp Ciepła (EHPA) udziela szerokiego wsparcia dla projektu „Akcelerator pompy ciepła”, szacując, że jego realizacja doprowadziłaby do zwiększenia liczby zainstalowanych pomp o 20 mln sztuk do 2026 r. i o 60 mln do roku 2030 w odniesieniu do stanu na rok 2021 – 17 mln sztuk pomp ciepła.

A zatem jest to plan niezwykle ambitny.

Program rozwoju geotermii w Polsce

W grudniu 2021 r. Ministerstwo Klimatu i Środowiska opublikowało wieloletni program rozwoju wykorzystania zasobów geotermalnych w Polsce, stanowiący mapę drogową rozwoju geotermii, a zarazem zawierający prognozę rozwoju tego sektora na lata 2022–2040, a w pewnych obszarach do roku 2050.

Program ten został opracowany przez dwudziestodwuosobowy zespół pod kierunkiem dr. Piotra Dziadzio – podsekretarza stanu, głównego geologa kraju, pełnomocnika rządu ds. polityki surowcowej państwa w Ministerstwie Klimatu i Środowiska (2021). Jest to pierwsze tak kompleksowe opracowanie, wpisujące się w politykę energetyczną Polski (Obwieszczenie Ministra Klimatu i Środowiska, 2021), wskazujące możliwości wykorzystania energii geotermalnej w kraju, obszary już technicznie i technologicznie zagospodarowane, jak i te wymagające jeszcze prac badawczych czy projektów konstrukcyjnych i wdrożeniowych. Chodzi o to, by wiedza na temat geotermii była rzetelna do podejmowania decyzji w tej dziedzinie. W wyżej wymienionym programie znalazły się też sugestie co do możliwości finansowania w perspektywie czasowej tych przedsięwzięć.

Za najbardziej wartościowy należy uznać plan działań na kolejne lata dążący do zmian w strukturze krajowego miks energetycznego poprzez znaczące zwiększenie udziału w nim energii odnawialnej, w tym z geotermii.

W programie omówiono różne sposoby wykorzystania zasobów energii geotermalnej przy zastosowaniu adekwatnych rozwiązań technologicznych, w tym zwrócono uwagę na:

- gruntowe pompy ciepła o różnej mocy, instalowane przez odbiorców indywidualnych, jak i komercyjnych, publicznych, biurowych i przemysłowych;
- niskotemperaturowe zasoby energii geotermalnej ($T < 45^{\circ}\text{C}$ i $T > 45^{\circ}\text{C}$);

- włączenie energii geotermalnej w istniejące systemy ciepłownictwa sieciowego w Polsce;
- wysokotemperaturowe zasoby energii geotermalnej ($T > 100^{\circ}\text{C}$) w instalacjach kogeneracyjnych wytwarzających energię elektryczną i ciepło;
- wody podziemne występujące płytko, wody kopalniane powierzchniowe i odpadowe jako dolne źródło ciepła dla pompy ciepła typu woda–woda;
- głębokie otworowe wymienniki ciepła, wykorzystujące zarurowane otwory o głębokości >100 m o odpowiednich parametrach technicznych.

Czy plan ten będzie realizowany w pełnym zakresie merytorycznym zależy od pozyskania środków finansowych z UE. Przy ich braku osiągnięcie celu, jakim jest istotne zwiększenie udziału energii z OZE, w tym energii geotermalnej, w miksie energetycznym kraju, będzie praktycznie niemożliwe lub niezwykle trudne i długotrwałe. Wpisując się w realizację programu rządowego, Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej przy współpracy z samorządami ustanowił w 2021 r. priorytetowy projekt „Udostępnienie wód termalnych w Polsce”, przeznaczając kwotę 229 mln zł na odwiercenie 15 otworów geotermalnych dla poszukiwań i rozpoznania wód termalnych oraz opracowanie dokumentacji hydrogeologicznych. Uzyskane wyniki pozwalają na określenie potencjału geotermalnego, będącego podstawą do prowadzenia dalszych prac nad wykorzystaniem zasobów do produkcji energii cieplnej czy elektrycznej.

Również biorąc pod uwagę wysokie koszty ubezpieczeń od ryzyka, Polska zaproponowała między innymi włączenie funduszu ubezpieczeń do swojej strategii rozwoju energetyki geotermalnej do 2040 r. (Dziadzio et al., 2021).

W innych krajach zastosowano szereg ciekawych rozwiązań dla obniżenia kosztów pozyskania, ale i użytkowania energii geotermalnej, np. na Węgrzech utworzono platformę geotermalną z dostępem do danych geologicznych na potrzeby powstających projektów, zaś np. w Niemczech stworzono system finansowania sieci ciepłowniczych wykorzystujących źródła odnawialne z dofinansowaniem 40%.

Należy zwrócić uwagę, że w Polsce coraz bardziej wzrasta zainteresowanie wykorzystaniem energii geotermalnej, o czym świadczą nie tylko liczby składanych wniosków w programach priorytetowych czy liczby sprzedanych instalacji termalnych, ale także portale przetargowe. Na ich stronach pojawiają się coraz częściej ogłoszenia firm przemysłowych czy samorządów w sprawie wykonania otworu poszukiwawczo-eksploatacyjnego dla rozpoznania warunków hydrotermalnych danego horyzontu zbiornikowego, a także dla określenia możliwości jak najbardziej efektywnego wykorzystania wód geotermalnych, z ukierunkowaniem na ciepłownictwo sieciowe czy przemysłowe.

Programy dotacyjne dla indywidualnych inwestorów dofinansowywane z funduszy europejskich

Energia geotermalna nie jest na obecnym etapie konkurencyjna cenowo w odniesieniu do energii wiatrowej czy słonecznej, ale sytuacja ta ulega szybkiej zmianie. Unia przeznaczyła duże fundusze na realizację szeregu projektów badawczych, w tym między innymi na wypracowanie i wdrożenie do powszechnego użytku innowacyjnych rozwiązań w aspekcie wytwarzania energii elektrycznej i ciepła, a także nowoczesnych technologii wiercenia otworów geotermalnych, zaawansowanych technik przetwarzania danych czy udoskonalonych metod oceny zasobów geotermalnych.

Niezależnie od programów badawczych realizowane są w poszczególnych krajach UE programy długofalowe, współfinansowane ze środków europejskich, mające na celu między innymi wykorzystanie energii geotermalnej w ogrzewnictwie indywidualnym. Powstały programy rządowe cieszące się bardzo dużym zainteresowaniem, skierowane do indywidualnych inwestorów (osób fizycznych), między innymi takie jak:

- **„Moje Ciepło”** – program realizowany z Funduszu Modernizacyjnego – nowego instrumentu UE, przeznaczonego dla 10 krajów o największych wyzwaniach związanych z redukcją emisji CO_2 , z czego Polsce przypada około 43,41% dostępnej puli środków, tj. około 600 mln zł. Celem programu jest rozwój ogrzewnictwa indywidualnego i energetyki prosumenckiej w obszarze powietrznych, wodnych i gruntowych pomp ciepła. Program jest skierowany do osób fizycznych będących właścicielami nowych budynków mieszkalnych jednorodzinnych. Rolę Krajowego Operatora Funduszu Modernizacyjnego pełni NFOŚiGW. Program, uruchomiony w kwietniu 2022 r., ma być kontynuowany w trybie ciągłym do końca 2026 r., jednak nie dłużej niż do wyczerpania środków alokacji.
- **„Mój Prąd”** – program priorytetowy realizowany od roku 2019 ze wsparciem funduszy europejskich (z instrumentu „REACT EU” w kwocie ponad 870 mln zł) dla osób fizycznych zainteresowanych produkcją energii ze słońca na własne potrzeby. Początkowo dofinansowywane były inwestycje w mikroinstalacje fotowoltaiczne, później zakres programu rozszerzono o domowe magazyny energii czy ciepła, a obecnie możliwe jest także uzyskanie dofinansowania do zakupu powietrznych i gruntowych pomp ciepła oraz kolektorów słonecznych na ciepłą wodę. Celem programu jest zachęta gospodarstw domowych, zwłaszcza znajdujących się na terenach słabiej zurbanizowanych, do produkcji własnej energii i poprawy jakości powietrza.
- **„Czyste Powietrze”** – program, na realizację którego w latach 2018–2029 przeznaczono 103 mld zł, daje możliwość

uzyskania dofinansowania na termomodernizację budynku mieszkalnego jednorodzinne i zamianę starych pieców na bardziej ekologiczne urządzenia grzewcze. Program ten, nadzorowany przez NFOŚiGW, o naborze wniosków w trybie ciągłym, obejmuje także pompy ciepła.

Należy nadmienić, że oprócz wyżej wymienionych rządowych akcji priorytetowych funkcjonują z dużym powodzeniem programy skierowane między innymi do jednostek samorządu terytorialnego, szkół wyższych, spółdzielni mieszkaniowych czy do podmiotów prowadzących działalność leczniczą, a finansowane z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, z przeznaczeniem na rozwój produkcji energii ze źródeł odnawialnych, w tym na geotermię.

A zatem możliwości pozyskania dofinansowania na wykorzystanie energii geotermalnej jest wiele i zależą one przede wszystkim od aktywności poszczególnych grup społecznych, jak i od przyjaznych aktów programowych i prawnych. Można mieć nadzieję, że efektem wyżej wymienionych programów – przy rosnącej świadomości Polaków co do konieczności obniżenia emisji gazów cieplarnianych w walce o czyste powietrze i zredukowanie bardzo wysokich własnych kosztów energii – będzie między innymi szersze zainteresowanie i zastosowanie pomp ciepła, tak jak stało się to w przypadku fotowoltaiki. Na koniec 2022 r. w Polsce do sieci elektroenergetycznej przyłączonych było 1,2 mln mikroinstalacji fotowoltaicznych, których łączna moc wynosiła ponad 9,3 GW. Był to ruch ogólnopolski, a fotowoltaika przez ostatnie lata była rekordy popularności, mierzonej liczbą montowanych paneli na dachach zarówno w małych wsiach, jak i na dużych podmiejskich osiedlach, świadcząc o tym, jak ogromny powszechny postęp w tym zakresie został osiągnięty.

Prace badawcze z geotermii realizowane przez INiG – PIB

W Polsce od lat prowadzone są prace badawcze dotyczące geotermii, między innymi przez:

- Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH;
- Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN;
- Państwowy Instytut Geologiczny – PIB.

Jednostki te mają w swym gronie świetnych specjalistów – realizatorów szeregu projektów naukowych i autorów uznanych publikacji z zakresu geotermii, reprezentujących Polskę w różnych międzynarodowych organizacjach czy też na europejskich kongresach geotermalnych.

Należy też wspomnieć o Instytucie Nafty i Gazu – Państwowym Instytucie Badawczym, który od lat prowadząc prace badawczo-rozwojowe w zakresie inżynierii złożowej

przy poszukiwaniu i eksploatacji złóż węglowodorów, stara się spożytkować swoją wiedzę i doświadczenie w obszarze energii geotermalnej. Jednym z takich kierunków jest wykorzystanie szcerpanych złóż ropy naftowej i gazu ziemnego o dobrych parametrach hydrodynamicznych i termicznych do celów geotermalnych, biorąc pod uwagę także możliwość zastosowania dwutlenku węgla jako nośnika energii geotermalnej w procesie jego sekwestracji. Zakres prac obejmuje zarówno tworzenie różnorodnych modeli obiektów geotermalnych przy uwzględnieniu szerokiego zbioru danych, jak i typowanie na bazie tych modeli lokalizacji otworów zatłaczających czy eksploatacyjnych, określając równocześnie optymalne tempo eksploatacji.

Drugim ważnym kierunkiem jest dobór odpowiedniej technologii wiercenia otworów geotermalnych, opracowanie odpowiednich receptur płuczek wiertniczych czy zaczynów uszczelniających kolumny rur okładzinowych, a także biodegradowalnych cieczy specjalnych stosowanych po zakończeniu wiercenia otworu, tj. w okresie eksploatacji odwiertu, podczas prac rekonstrukcyjnych.

Kolejnym istotnym zagadnieniem są procesy kwasowania strefy przyodwiertowej czy hydraulicznego szczelinowania zbiornikowych poziomów geotermalnych dla udrożnienia dróg migracji wody w przestrzeni porowej, zwiększenia chłonności odwiertów zatłaczających i utrzymania ciągłości cyrkulacji wody w odwiertowym systemie zatłaczająco-produkcyjnym. W zakresie stymulacji pracy otworów wiertniczych INiG – PIB posiada wieloletnie praktyczne doświadczenie.

Tylko w okresie ostatnich 2–3 lat pracownicy Instytutu zrealizowali szereg prac badawczych, obejmujących między innymi zagadnienia inżynierii złożowej występujące w procesach pozyskiwania energii geotermalnej przy wykorzystaniu otworów wiertniczych, które dotyczyły między innymi:

- zagospodarowania i ograniczenia szkodliwego oddziaływania CO₂ na atmosferę – poprzez jego wykorzystanie jako medium roboczego w zakresie warunków nadkrytycznych ciśnienia i temperatury, przy pozyskiwaniu energii geotermalnej ze szcerpanych złóż węglowodorów (Szipunar i Majkrzak, 2023);
- wpływu oddziaływania dwutlenku węgla podczas jego sekwestracji w formacje geologiczne systemu geotermalnego na dynamiczne parametry geomechaniczne skał zbiornikowych i towarzyszących im płynów złożowych (Moska, 2023);
- analizy termalnych naprężeń geomechanicznych wywołanych przepływami płynów o różnych temperaturach, przy wykorzystaniu dwóch skonstruowanych modeli symulacyjnych złoża geotermalnego (modelu złożowego hydrotermalnego oraz geomechanicznego) (Ruciński i Szott, 2023);

- doboru parametrów płuczek wiertniczych i zaczynów cementowych pod kątem ich zastosowania do udostępniania złóż geotermalnych, przy uwzględnieniu podwyższonych temperatur i ciśnień złożowych (Jasiński et al., 2022).

Podsumowanie

1. Wprowadzenie w życie planu RePowerEU przez Komisję Europejską zdecydowanie zmobilizowało środowiska naukowe, inżynierskie czy agencje rządowe, przyspieszając prace między innymi nad wykorzystaniem w znacznie szerszym zakresie i stopniu energii geotermalnej. Energia ta może odegrać istotną rolę w UE w szybszym złagodzeniu problemów związanych z dostarczaniem gazu ziemnego i zwiększyć udział energii ze źródeł odnawialnych w bilansie energetycznym poszczególnych krajów członkowskich.
2. Realizacja priorytetowych programów dofinansowywanych z UE, takich jak „Moje Ciepło”, „Mój Prąd”, „Czyste Powietrze”, skierowanych do indywidualnych inwestorów, ale także innych zamierzeń programowych ukierunkowanych na samorządy czy firmy przemysłowe pozwala prognozować uzyskanie przez Polskę wielokrotnego wzrostu wykorzystania energii geotermalnej do roku 2050. Takie wnioski wynikają z bardzo dużego społecznego zainteresowania udziałem w wyżej wymienionych programach, a także z powszechnej świadomości co do konieczności dążeń do obniżenia opłat za energię, ale i do poprawy warunków klimatycznych.
3. Istotną rolę w sprawnej realizacji programu rozwoju geotermii w Polsce mają do spełnienia agencje rządowe, by eliminować różnego rodzaju trudności i niedogodności we wdrożeniu na szeroką skalę technologii geotermalnych, zarówno wśród inwestorów indywidualnych, jak i organizacji samorządowych czy firm przemysłowych. Pomyślność wprowadzenia tych rozwiązań uzależniona jest przede wszystkim od pozyskania przez rząd dużych unijnych środków, z których część powinna być wykorzystana na energetyczną transformację kraju.

Literatura

- Ciechanowska M., Gąsior I., 2000. Ciepło radiogeniczne emitowane przez utwory miocenijskie przedgórza Karpat. *Nafta-Gaz*, 66(4): 197–208.
- Dziadzio P., Maj J., Ofiara K., Jerzak M., Kamionka D., Bąk D., Roliński J., Kuś B., 2021. Programy wsparcia rozwoju geotermii

w Polsce oraz ich dotychczasowe efekty. *Przegląd Geologiczny*, 69(9): 549–558.

- Hajto M., 2021. Stan wykorzystania energii geotermalnej w Europie i na świecie w 2020. *Przegląd Geologiczny*, 69(9): 566–577.
- Jasiński B., Uliasz M., Zima G., Błaż S., 2022. Badania nad podwyższeniem odporności płuczek wiertniczych z uwagi na niekorzystne warunki złożowe podczas wierceń geotermalnych. *Nafta-Gaz*, 78(4): 274–287. DOI: 10.18668/NG.2022.04.04.
- Kępińska B., 2016. Przegląd stanu wykorzystania energii geotermalnej na świecie i w Europie w latach 2013–2015. *Technika Poszukiwań Geologicznych*, 55(1): 5–16.
- Komisja Europejska, Przedstawicielstwo w Polsce, 2022. REPowerEU – bezpieczna energia dla Europy. <https://poland.representation.ec.europa.eu/news/repower-eu-bezpieczna-energia-dla-europy-2022-05-19_pl> (dostęp: 10.02.2023).
- Ministerstwo Klimatu i Środowiska, 2021. Wieloletni program rozwoju wykorzystania zasobów geotermalnych w Polsce. <<https://www.gov.pl/web/klimat/mapa-drogowa-rozwoju-geotermii-w-polsce>> (dostęp: 5.04.2023).
- Moska R., 2023. Wpływ oddziaływania CO₂ na dynamiczne parametry geomechaniczne w systemie geotermalnym. *Nafta-Gaz*, 79(3): 199–212. DOI: 10.18668/NG.2023.03.06.
- Nowoczesne Ciepłownictwo, 2020. Geotermia w UE może wzrosnąć 8-krotnie. <<https://nowoczesniecieplownictwo.pl/geotermia-w-ue-moze-wzrosnac-8-krotnie/>> (dostęp: 9.02.2023).
- Ruciński P., Szott W., 2023. Analiza termalnych efektów geomechanicznych wywołanych przepływami geotermalnymi. *Nafta-Gaz*, 79(1): 28–43. DOI: 10.18668/NG.2023.01.04.
- Stachel A.A., Sołtysik G., 2017. Elektrownie geotermalne na świecie i w Polsce. *Automatyka – Elektryka – Zakłócenia*, 8(4): 68–79.
- Szpunar T., Majkrzak M., 2023. Sposób oceny rozkładu temperatury w produkcyjnym otworze geotermalnym przy dopływie mieszaniny solanki i dwutlenku węgla w zakresie warunków nadkrytycznych. *Nafta-Gaz*, 79(3): 190–198. DOI: 10.18668/NG.2023.03.05.
- Świat OZE, 2022. Energia geotermalna – nowy plan dążenia UE do niezależności od importu. <<https://swiatoze.pl/energia-geotermalna-nowy-plan-dazenia-do-niezaleznosci-od-importu-paliw/>> (dostęp: 9.02.2023).
- The International Renewable Energy Agency (IRENA). <<http://pxweb.irena.org/pxweb/en/IRENASTAT/>> (dostęp: 17.02.2023).

Akty prawne i dokumenty normatywne

- Obwieszczenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 2 marca 2021 r. w sprawie polityki energetycznej państwa do 2040 r. (Monitor Polski z 2021 r. poz. 264).



Dr hab. inż. Maria CIECHANOWSKA,
prof. INiG – PIB
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: maria.ciechanowska@inig.pl