

Stan i perspektywy wykorzystania energii geotermalnej na świecie i w Europie

Beata Kępińska¹



Geothermal energy use in Europe and worldwide: current status and future prospects. Prz. Geol., 58: 560–565.

A b s t r a c t. According to the data presented at the World Geothermal Congress 2010, geothermal energy is directly used in 78 countries. Geothermal electricity generation is reported by 24 countries. In Europe geothermal is directly used in 37 countries. In 2009 installed capacity amounted to 24 469.3 MW_t, while heat use was 233 736,7 TJ (46.7% and 53.4% of a global share of geothermal, respectively). In Europe (including Turkey) geothermal power plants using geothermal steam to generate electricity are operated in Iceland, Italy, Turkey, Portugal (12,5% of installed capacity and geothermal electricity production worldwide). The interest is growing in power generation via binary schemes using 100–120°C water (in Europe first pilot installations of 0,2–3 MW_e capacities were launched in recent years). In many countries geothermal energy is among the most prospective renewable because of ecological and economic reasons. It is less sensitive to changes of traditional energy prices at the international markets and makes it possible to reduce dependence on imported fuels and, in this way, increase energy safety.

Keywords: geothermal energy, geothermal uses, world, Europe

Energia zawarta w wodach i parach geotermalnych ma wiele zastosowań. Dzieli się je na dwie zasadnicze grupy (Lindal, 1973):

□ wytwarzanie prądu elektrycznego,

□ zastosowania bezpośrednie obejmujące szeroki zakres temperatury i różnorodne cele (najbardziej powszechne jest stosowanie wód i energii geotermalnej w ciepłownictwie, rolnictwie, rekreacji i balneologii, a ponadto w hodowlach wodnych, do suszenia produktów rolnych i przemysłowych, w procesach przemysłowych itd.).

Do głównych sposobów wydobycia złóż geotermalnych należą:

□ Eksploatacja głęboko zalegających złóż wód i par geotermalnych za pomocą otworów wiertniczych – dotyczy ona złóż wód położonych na głębokości rzędu 1–3 km. Wody są wydobywane z otworów za pomocą pomp lub też wypływ ma charakter artezyjski. Eksploatacja może być prowadzona w zamkniętym układzie otworów produkcyjnych i chłonnych: schłodzona woda geotermalna po odzysku części ciepła (w wymiennikach lub pompach ciepła) jest zatłaczana z powrotem do złoża; w otwartym układzie otworów: schłodzona woda geotermalna po odzysku części ciepła nie jest zatłaczana do złoża, a odprowadzana do odbiornika powierzchniowego lub stosowana do innych celów, np. jako woda pitna (jeśli spełnia odpowiednie normy) czy też woda do basenów kąpielowych.

□ Eksploatacja wód geotermalnych wypływających z naturalnych źródeł – ten sposób funkcjonuje niekiedy w przypadku stosowania wód w celach leczniczych i kąpieliskowych.

□ Eksploatacja ciepła geotermicznego z przypowierzchniowych partii skorupy ziemskiej – ciepło zawarte w gruncie, wodzie i płytko położonych partiach górotworu jest odzyskiwane za pomocą pomp ciepła.

Coraz większe zainteresowanie wzbudza technologia wspomaganých systemów geotermalnych (ang. *Enhanced Geothermal Systems, EGS*, najnowszy termin *to Engi-*

neered Geothermal Systems, EGS) ukierunkowana na odzysk ciepła gorących suchych skał (ang. *Hot Dry Rocks*). Technologia ta polega na odzyskiwaniu ciepła z masywów skalnych, które są pozbawione odpowiednich właściwości zbiornikowych i nie zawierają wód, zatem są „suche”. Zalegają zwykle na głębokości poniżej 3–5 km. Panuje w nich stosunkowo wysoka temperatura (powyżej 150°C) z racji wysokiej generacji ciepła przez pierwiastki promieniotwórcze zawarte w niektórych minerałach skałotwórczych. Masywy takie muszą być sztucznie szczelinowane, a do powstałych szczelin za pomocą odwiertów będzie pompowana woda, która po ogrzaniu do temperatury rzędu 100°C i wyższej będzie wydobywana na powierzchnię i zagospodarowywana. Zamiast wtłaczania wody, do odzysku ciepła można stosować otworowe wymienniki ciepła. Metoda jest obecnie w stadium eksperymentów, jakkolwiek w niektórych krajach i rejonach (jak np. Indie, Australia, Europa – rów górnego Renu, USA) w – co należy jednoznacznie podkreślić – sprzyjających warunkach geotektonicznych i geologicznych jest uważana za perspektywiczną (m.in. Chandrasekhar & Chandrasekhar, 2007; Goldstein i in., 2008).

Stan wykorzystania energii geotermalnej na świecie

Wykorzystanie bezpośrednie. Zgodnie z danymi prezentowanymi podczas Światowego Kongresu Geotermalnego w 2010 r. na Bali (Indonezja), energię geotermalną wykorzystuje się w sposób bezpośredni w 78 krajach (Lund i in., 2010), natomiast produkcja prądu elektrycznego ma miejsce w 24 krajach (Bertani, 2010). Odnotowuje się stały wzrost wykorzystania energii geotermalnej na świecie, w czym istotną rolę odgrywają rozwój i wzrost efektywności technologii, względy ekologiczne i ekonomiczne. W końcu 2009 r. całkowita moc zainstalowana do bezpośredniego wykorzystania wynosiła 50 583 MW_t, a zużycie ciepła 438 071 TJ (121 696 GWh). W porównaniu do sytuacji w 2005 r. (kiedy odbył się poprzedni światowy kongres) liczby te wzrosły odpowiednio o 79% i 60% (w latach 2000–2005 było to odpowiednio 50% i 40%). Znaczący udział w tym wzroście miały pompy ciepła (Lund i in., 2010). Dynamiczny rozwój rynku tych

¹Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; bkepinska@interia.pl

Tab. 1. Bezpośrednie wykorzystanie energii geotermalnej na świecie w 2009 r. (Lund i in., 2010)
 Table 1. Direct geothermal energy uses worldwide, 2009 (Lund et al., 2010)

Rodzaj zastosowania <i>Typ of use</i>	Moc zainstalowana <i>Installed capacity</i>		Zużycie ciepła <i>Heat use</i>		Współczynnik wykorzystania <i>Capacity factor</i> [%]
	[MW]	[%]	[TJ/rok], [TJ/year]	[%]	
Pompy ciepła ¹ <i>Heat pumps¹</i>	35 236	69,6	214 782	49,0	0,19
Ogrzewanie pomieszczeń ² <i>Space heating²</i>	5 394	10,7	62 984	14,4	0,37
Ogrzewanie szklarni, upraw pod osłonami, podgrzewanie podłoża <i>Heating greenhouses, foil tunnels, soil heating</i>	1 544	3,0	23 264	5,3	0,48
Akwakultury <i>Aquacultures</i>	653	1,2	11 521	2,6	0,56
Suszenie produktów rolnych <i>Drying of agricultural products</i>	127	0,5	1 662	0,4	0,42
Przemysłowe <i>Industrial uses</i>	533	1,0	11 746	2,7	0,70
Kąpieliska i balneoterapia <i>Bathing and balneotherapy</i>	6 689	13,2	109 032	24,9	0,52
Topienie śniegu/odladzanie <i>Snow melting</i>	368	0,7	2 126	0,5	0,18
Inne <i>Other</i>	41	0,1	956	0,2	0,13
Razem <i>Total</i>	50 583	100	438 071	100	śr. 0,27 av. 0,27

¹Ogrzewanie pomieszczeń pompami ciepła, ²Ogrzewanie pomieszczeń ciepłem wód i par wydobywanych głębszymi otworami wiertniczymi
¹Space heating by heat pumps, ²Space heating by geothermal waters produced from deeper wells

urządzeń rozpoczął się w latach 1990. w Kanadzie, USA i Japonii, a w ostatnich latach jest odnotowywany również w krajach europejskich (Szwecja, Szwajcaria, Austria i in.).

Największy udział w skali świata, pod względem zainstalowanej mocy i zużycia ciepła w zastosowaniach bezpośrednich, ma ogrzewanie pomieszczeń (pompami ciepła oraz ciepłem wód wydobywanych z głębokich otworów), a na drugim miejscu znajdują się kąpieliska i balneoterapia. Pozostałe zastosowania to ogrzewanie szklarni, upraw pod osłonami i podgrzewanie gleby, hodowle wodne (ryb, skorupiaków, żółwi, a nawet aligatorów), suszenie produktów rolnych, wykorzystanie przemysłowe, topienie śniegu oraz odladzanie jezdnii i chodników oraz inne zastosowania, m.in. odzysk dwutlenku węgla i soli mineralnych (Lund i in., 2010; tab. 1).

Biorąc pod uwagę roczne zużycie ciepła, do pierwszej piątki krajów stosujących energię geotermalną w sposób bezpośredni zaliczamy Chiny, USA, Szwecję, Turcję i Japonię, na które przypada łącznie 55% całkowitego rocznego zużycia ciepła geotermalnego na świecie. Pod względem zainstalowanej mocy do pierwszej piątki krajów należą USA, Chiny, Szwecja, Norwegia i Niemcy. Jeśli natomiast odnieść zużycie ciepła geotermalnego do liczby mieszkańców, to w czołówce znajdują się Islandia, Norwegia, Szwecja, Dania i Szwajcaria (Lund i in., 2010).

Generacja prądu elektrycznego. Produkcja prądu elektrycznego dzięki zastosowaniu par geotermalnych o wysokiej entalpii odbywa się w 24 krajach. W końcu 2009 r. całkowita moc zainstalowana osiągnęła 10 715 MW_e, a produkcja prądu wyniosła 67 246 GWh (tab. 2). Było to około 20% więcej w porównaniu z 2005 r. Do krajów generujących w elektrowniach geotermicznych

najwięcej prądu należą USA, Filipiny, Indonezja, Meksyk i Włochy (Bertani, 2010).

Wzrasta zainteresowanie instalacjami binarnymi, w których w cyklu generacji elektryczności można stosować wody geotermalne o temperaturze powyżej 100°C (służą one do odparowania czynnika roboczego, którym jest plyn organiczny lub mieszanina wody i amoniaku). Pierwsze instalacje wykorzystujące wody o temperaturze rzędu 100–120°C pracują od niedawna w Austrii i Niemczech. W niektórych krajach trwają badania i prace zmierzające do uruchomienia następnych instalacji binarnych (jakkolwiek mają one niewielką moc, a ich sprawność i efektywność jest niska; Antics & Sanner, 2007).

Wykorzystanie energii geotermalnej w Europie

Warunki geotermalne. Europę charakteryzują niskie i średnie wartości gęstości strumienia ciepłego Ziemi. Parametr ten waha się w zakresie od 30–40 mW/m² w obrębie wschodnioeuropejskiej platformy prekambryjskiej do 60–80 mW/m² w obszarze orogenu alpejskiego. Stosunkowo wysokie wartości – 80–100 mW/m² cechują aktywne tektonicznie obszary południowej Europy, rów górnego Renu i niektóre inne rejony, m.in. basen panoński. Najwyższe wartości gęstości strumienia ciepłego Ziemi – 150–200 mW/m² stwierdzono na Islandii, położonej w obszarze aktywnego ryftu środkowo-atlantyckiego (Hurter & Haenel, 2002).

Warunki termiczne powodują, że w Europie dominują złoża niskotemperaturowe (o niskiej entalpii), czyli złoża wód o temperaturze poniżej 150°C. Są one związane głównie ze skałami osadowymi – wapieniami, dolomitami, piaskowcami, a ponadto ze skałami magmowymi (krystalicznymi, wulkanicznymi). Największe eksploatowane złoża wód geotermalnych na kontynencie europejskim

Tab. 2. Produkcja geotermalnej energii elektrycznej na świecie w 2009 r. (Bertani, 2010)
 Table 2. Geothermal electricity generation worldwide, 2009 (Bertani, 2010)

Kraj Country	Moc zainstalowana Installed capacity [MW _e]	Produkcja energii elektrycznej [GWh/rok] Power generation [GWh/year]
Australia	1,1	0,5
Austria	1,4	3,8
Chiny, China	24	150,0
Etiopia, Ethiopia	7,3	10
Filipiny, Philippines	1 904	10 311
Francja ¹ , France ¹	16	95
Gwatemala, Guatemala	52	289
Indonezja, Indonesia	1 197	9 600
Islandia, Iceland	575	4 597
Japonia, Japan	536	3 064
Kenia, Kenya	167	1 430
Kostaryka, Costa Rica	166	1 131
Meksyk, Mexico	958	7 047
Niemcy, Germany	6,6	50
Nikaragua, Nicaragua	88	310
Nowa Zelandia, New Zealand	628	4 055
Papua Nowa Gwinea, Papua New Guinea	56	450
Portugalia ² , Portugal ²	29	175
Rosja ³ , Russia ³	82	441
Salwador, El Salvador	204	1 422
Tajlandia, Thailand	0,3	2
Turcja, Turkey	82	490
USA	3 093	16 603
Włochy, Italy	843	5 520
Razem Total	10 715	67 246

¹Gwadelupa (terytorium zamorskie Francji), ²wyspa San Miguel (Azory), ³Kamczatka
¹Guadeloupe (oversee territory of France), ²San Miguel Island (Azores), ³Kamchatka

znajdują się w basenie paryskim (Francja), w basenie panońskim (położonym na terenie kilku państw – Węgier, Serbii, Słowacji, Słowenii i Rumunii), w obszarze Niżu Europejskiego (m.in. w Niemczech, Danii i Polsce), w paleogeńskich strukturach Karpat wewnętrznych (Polska i Słowacja), a także w alpejskich i starszych strukturach południowej Europy (Bułgaria, Rumunia, Grecja oraz Turcja – w tym artykule zaliczana do Europy). W niektórych obszarach znajdują się złoża przegrzanych wód i par (o wysokiej entalpii) – we Włoszech, w Turcji, Grecji, na kilku wyspach (Azory i Wyspy Kanaryjskie), a przede wszystkim na Islandii.

Stan wykorzystania energii geotermalnej. Energia geotermalna jest stosowana w 37 krajach europejskich, na różną skalę i do różnych celów. W 2009 r. całkowita moc zainstalowana do wykorzystania bezpośredniego wynosiła 23 469,308 MW_e, a zużycie ciepła 233 736,7 TJ (61 839,9 GWh) (Lunda i in., 2010; tab. 3), co stanowiło odpowiednio 46,7% i 53,4% (50,8%) udziału w świecie. Bezpośrednie wykorzystanie energii geotermalnej na przemysłową skalę ma miejsce przede wszystkim właśnie w Europie: w pierwszej piątce krajów o największej zainstalowanej mocy i zużyciu ciepła geotermalnego są bowiem, obok Chin, USA i Japonii, dwa kraje tego kontynentu – Szwecja i Turcja. W czołówce światowej znajduje się także kilka innych państw europejskich. Wzrost wykorzystania energii geotermalnej w Europie w latach 2005–2009 był związany przede wszystkim z włączaniem do użytku wielu nowych pomp ciepła.

Całkowita moc zainstalowana wszystkich elektrowni geotermalnych w Europie w 2009 r. wynosiła 1553 MW_e, a produkcja 12 371,8 GWh, co stanowiło odpowiednio 14,5% i 18,4% udziału geotermii w skali świata (Bertani, 2010). Generacja prądu elektrycznego dzięki zastosowaniu par geotermalnych jest prowadzona w sześciu krajach europejskich (tab. 2, 3): na Islandii, we Włoszech, w Turcji, a także w Portugalii (na Azorach), w Austrii i w Niemczech. W statystykach dotyczących Europy ujmuje się zwykle także Rosję (elektrownie na Kamczatce) i Francję (Gwadelupa – terytorium zamorskie tego kraju). Od niedawna pracuje sześć instalacji binarnych stosujących wody geotermalne o temperaturze 98–122°C w cyklu generacji prądu elektrycznego: w Altheim (od 2001 r.), Bad Blumau (od 2003 r.) i Simbach/Braunau w Austrii oraz w Neustadt-Glewe w Austrii oraz w Unterhaching (od 2007 r.) i Landau (od 2008 r.) w Niemczech. Mają one niewielką moc: 180–500 kW_e, jedynie instalacje w Unterhaching i Landau mają moc ok. 3 MW_e), cechują się niezbyt wysoką sprawnością i pracują z instalacjami stosującymi na dużą skalę ciepło geotermalne (centralne ogrzewanie i ciepła woda użytkowa, kąpieliska i balneoterapia). W niektórych krajach trwają badania i prace zmierzające do uruchomienia następnych instalacji binarnych.

Główne dziedziny wykorzystania energii geotermalnej. Wody i energia geotermalna są w Europie stosowane przede wszystkim w ciepłownictwie – w systemach centralnego ogrzewania pomieszczeń i przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz w instalacjach indywidualnych, w rekreacji i balneoterapii, w rolnictwie (do ogrzewania szklarni, upraw pod osłonami foliowymi i do podgrzewania glebowego), w mniejszym udziale także w hodowlach wodnych – głównie ryb, niekiedy także glonów, w procesach przemysłowych – m.in. do suszenia i pasteryzacji, a niekiedy do topienia śniegu i lodu z chodników i jezdni, a także podgrzewania pasów startowych lotnisk. Z wód geotermalnych odzyskuje się dwutlenek węgla, sól jadalną i inne związki chemiczne. Stosuje się je do produkcji kosmetyków czy też butelkuje jako wody lecznicze i mineralne.

Oprócz ciepła wód wydobywanych z głębokich odwiertów coraz częściej jest ono dostarczane przez pompy ciepła, oparte na odzysku ciepła płytkich partii skorupy ziemskiej. W niektórych krajach – Szwecji, Norwegii, Szwajcarii, Finlandii, Holandii, Austrii i Niemczech – zdominowały one ogrzewanie geotermalne, a niekiedy są sto-

Tab. 3. Europa – wykorzystanie energii geotermalnej w 2009 r. (na podstawie Lunda i in., 2010; Bertaniego, 2010)
 Table 3. Europe – geothermal energy uses, 2009 (based on Lund et al., 2010; Bertani, 2010)

Kraj Country	Bezpośrednie wykorzystanie Direct uses			Produkcja prądu elektrycznego Electricity generation	
	Moc zainstalowana Installed capacity [MW _t]	Produkcja ciepła Heat production		Moc zainstalowana Installed capacity [MW _e]	Całkowita produkcja [GWh/rok] Total production [GWh/year]
		[TJ/rok] [TJ/year]	[GWh/rok], [GWh/year]		
Albania	11,48	40,46	11,2	–	–
Austria	662,85	3 727,7	1 035,6	1,41	3,8
Belgia, <i>Belgium</i>	117,9	546,97	151,9	–	–
Białoruś, <i>Belarus</i>	3,422	33,79	9,4	–	–
Bośnia i Hercegowina <i>Bosnia and Herzegovina</i>	21,696	255,3	70,9	–	–
Bułgaria, <i>Bulgaria</i>	98,3	1 370,12	380,6	–	–
Chorwacja, <i>Croatia</i>	67,48	468,89	130,3	–	–
Czechy <i>Czech Republic</i>	151,5	922	256,1	–	–
Dania, <i>Denmark</i>	200	2 500	694,5	–	–
Estonia	63	356	98,9	–	–
Finlandia, <i>Finland</i>	857,9	8 370	2 325,2	–	–
Francja, <i>France</i>	1 345	12 929	3 591,7	16	95
Grecja, <i>Greece</i>	134,6	937,8	260,5	–	–
Hiszpania, <i>Spain</i>	141,04	684,05	190,0	–	–
Holandia, <i>Netherlands</i>	1 410,26	10 699,4	2 972,3	–	–
Irlandia, <i>Ireland</i>	152,88	764,02	212,2	–	–
Islandia, <i>Iceland</i>	1 826	24 361	6 767,5	575	5 597
Litwa, <i>Lithuania</i>	48,1	411,52	114,3	–	–
Macedonia	47,18	601,41	167,1	–	–
Niemcy, <i>Germany</i>	2 485,4	12 764,5	3 546,0	6,61	50
Norwegia, <i>Norway</i>	3 300	25 200	7 000,6	–	–
Polska, <i>Poland</i>	281,05	1 501,1	417,0	–	–
Portugalia, <i>Portugal</i>	28,1	386,4	107,3	29	175
Rosja, <i>Russia</i>	308,2	6 143,5	1 706,7	82	441
Rumunia, <i>Romania</i>	153,24	1 265,43	351,5	–	–
Serbia, <i>Serbia</i>	100,8	1 410	391,7	–	–
Słowacja, <i>Slovakia</i>	132,2	3 067,2	852,1	–	–
Słowenia, <i>Slovenia</i>	104,17	1 136,39	315,7	–	–
Szwajcaria <i>Switzerland</i>	1 060,9	7 714,6	2 143,1	–	–
Szwecja, <i>Sweden</i>	4 460	45 301	12 543,1	–	–
Turcja, <i>Turkey</i>	2 084	36 885,9	10 246,9	82	490
Ukraina, <i>Ukraine</i>	10,9	118,8	33,0	–	–
Węgry, <i>Hungary</i>	654,6	9767	2 713,3	–	–
Wlk. Brytania <i>United Kingdom</i>	186,62	849,74	236,1	–	–
Włochy, <i>Italy</i>	867	9 941	2 761,6	843	5 520
Razem <i>Total</i>	23 603,708	233 736,7	61 839,9	1 553	12 371,8

¹Pilotażowe instalacje binarne stosujące wody geotermalne o temperaturze 98–122°C

¹Pilot binary installations using 98–122°C geothermal waters

sowane także do chłodzenia pomieszczeń, co wydłuża okres ich pracy i zwiększa efektywność ekonomiczną.

Najwięcej energii geotermalnej zużywa się od kilku lat w Szwecji (tab. 3), dzięki dynamicznemu rozwojowi rynku pomp ciepła. Kraj ten po 2000 r. wyprzedził pod względem całkowitej ilości wykorzystywanego ciepła geotermalnego Turcję i Islandię (!). Oprócz wymienionych krajów na innych czołowych miejscach w Europie w zastosowaniach bezpośrednich energii geotermalnej znajdują się ponadto Norwegia, Islandia, Francja, Niemcy, Włochy, Węgry, Finlandia i Szwajcaria. Spośród wymienionych krajów Norwegia, Finlandia, Szwajcaria i Niemcy zawdzięczają wysokie pozycje powszechnemu stosowaniu pomp ciepła odzyskujących ciepło przypowierzchniowych partii górotworu i płytkich poziomów wodonośnych, pozostałe to kraje, gdzie dominuje tzw. głęboka geotermia.

W najbardziej wszechstronny i znaczący (w przeliczeniu na mieszkańca) sposób korzysta z wód i energii geotermalnej Islandia: w ciepłownictwie – zaopatrującym ponad 98% populacji, do ogrzewania szklarni – dzięki czemu kraj położony pod kołem podbiegunowym jest niemal samowystarczalny pod względem zaopatrzenia w podstawowe warzywa – w kąpieliskach i balneoterapii, w hodowli ryb (łososi i pstrągów), do suszenia glonów, wełny, ziemi okrzemkowej, ryb, w procesach technologicznych przemysłu spożywczego, do odzysku dwutlenku węgla, do odzysku z wody morskiej soli kuchennej (chlorku sodu) używanej do celów spożywczych oraz do konserwacji ryb, produkcji kosmetyków itd.

Do innych krajów przodujących w Europie pod względem stosowania energii i wód geotermalnych należą: w ciepłownictwie – Turcja, Francja, Niemcy i Rosja; w rol-

nictwie (ogrzewanie szklarni i upraw pod osłonami) – Rosja, Turcja, Węgry, Włochy i Grecja; w rekreacji i balneoterapii – Węgry, Turcja, Słowacja, Włochy oraz Austria (ten sposób wykorzystania ma miejsce w wielu innych krajach Europy, także w Polsce). W niektórych krajach ciepło geotermalne stosuje się do suszenia produktów rolnych, drewna, materiałów budowlanych (Serbia, Grecja, Rumunia i Słowenia). Z wód geotermalnych są odzyskiwane sole mineralne oraz inne związki chemiczne (Bułgaria, Włochy, Polska i Rosja), a także dwutlenek węgla (Bułgaria, Polska i Turcja). Wody są butelkowane (Bułgaria, Francja i Węgry), są też podstawą produkcji wysokiej jakości kosmetyków (Francja, Bułgaria, Rumunia i Polska). Ciepłem geotermalnym są podgrzewane pasy startowe kilku lotnisk (Niemcy i Szwajcaria).

W kilku krajach prowadzi się badania dotyczące odzysku ciepła z gorących suchych skał. Znaną są one m.in. z podłoża rowu górnego Renu, gdzie zalegają na głębokości poniżej 3–5 km. Międzynarodowy projekt badawczo-eksperymentalny jest prowadzony od kilkunastu lat w Soultz-sous-Forets we Francji (w 2008 r. oficjalnie uruchomiono instalację o mocy ok. 3 MW_e), a od niedawna także w Niemczech (Landau i Bruchsal).

Również w Polsce, dzięki oddaniu do użytku w latach 2005–2009 nowej ciepłowni geotermalnej w Stargardzie Szczecińskim, zwiększeniu produkcji ciepła w innych istniejących zakładach, otwarciu kilku geotermalnych ośrodków rekreacyjnych oraz rozwojowi sektora pomp ciepła, wzrosła nieco zainstalowana moc i produkcja ciepła geotermalnego: w końcu 2008 r. wyniosły one odpowiednio ok. 281 MW_t (w tym ok. 180 MW_t mocy cieplnej reprezentowały sprężarkowe pompy ciepła) i ok. 1501 TJ (w 2004 r. było to odpowiednio 170 MW_t i 838,3 TJ (Kępińska, 2010).

Kierunki rozwoju geotermii w Europie

W najbliższych latach na świecie i w Europie jest spodziewany dalszy rozwój wykorzystania energii geotermalnej. Dotyczy to różnych technologii i różnych sposobów wykorzystania:

□ Pompy ciepła – do największych już realizowanych należy projekt budowy systemu pomp ciepła (docelowo 1000 MW_t) w Mediolanie we Włoszech (Sparacino i in., 2007).

□ Instalacje binarne do produkcji prądu elektrycznego wykorzystujące wody o temperaturze przynajmniej 80–100°C, współpracujące z instalacjami do produkcji ciepła (do takich należy m.in. uruchomiona w 2007 r. w Unterhaching elektrociepłownia o mocy cieplnej 40 MW_t – do centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej – i mocy elektrycznej ok. 3 MW_e; Knapik & Kittel, 2007). Spodziewany jest m.in. wzrost efektywności instalacji, transfer technologii generacji prądu dzięki zastosowaniu metody EGS (co zainicjowała w 2008 r. instalacja w Soultz-sous-Forets) do innych miejsc w Europie oraz zwiększenie efektywności metod eksploracji systemów EGS, niezawodności technologii i instalacji.

□ Budowa kolejnych systemów centralnego ogrzewania, optymalizacja istniejących. Wykorzystanie energii geotermalnej w ciepłownictwie w niektórych krajach europejskich zwiększyłoby bezpieczeństwo dostaw ciepła do sieci c.o. wykorzystujących gaz dostarczany z Rosji tran-

zytem poprzez Ukrainę (nawet 100% dostaw w przypadku kilku krajów). Ograniczenia dostaw gazu z tego kierunku, jakie zdarzyły się w styczniu 2009 r. (w środku sezonu grzewczego!), mogą się powtarzać.

□ Zwiększenie zastosowań w rolnictwie, akwakulturach, suszarnictwie, rekreacji i balneoterapii.

□ Nowe zastosowania: odladzanie jezdni, pasów startowych, odsalanie wody morskiej itd.

W zastosowaniach bezpośrednich i rozwoju geotermii „tradycyjnej” (otwory wiertnicze do głębokości 3–4 km) są natomiast spodziewane (Antics & Sanner, 2007; dane *European Geothermal Energy Council*, EGEC – www.egec.org):

□ postęp w metodach badań, oceny zasobów i parametrów złóż,

□ wzrost jakości i niezawodności technologii i instalacji,

□ transfer sprawdzonych rozwiązań do innych lokalizacji.

W ostatnich latach środowisko naukowców i praktyków podjęło kilka istotnych inicjatyw europejskich wspierających rozwój geotermii:

□ Opracowanie propozycji dyrektywy UE dotyczącej zwiększenia wykorzystania OZE w ciepłownictwie i chłodnictwie (25% udziału w 2020 r.); inicjatywa zgłoszona przez *European Renewable Energy Council* w 2004 r. była jednym z impulsów do opracowania *Dyrektywy 2009/28/WE w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych* (tzw. 3 × 20%) – kluczowego elementu tzw. pakietu klimatyczno-energetycznego. W inicjatywie znalazło się m.in. stwierdzenie, że *szczególne znaczenie dla rzeczywistego rozwoju OZE w Europie ma wprowadzenie ram prawnych i ekonomicznych sprzyjających ich wykorzystaniu w ciepłownictwie i chłodnictwie*.

□ *Deklaracja z Kistelek (The Kistelek Declaration)* przyjęta w 2005 r. na Węgrzech podczas konferencji *Narzędzia prawne i ekonomiczne dla przyspieszenia wykorzystania energii geotermalnej w UE*. Dokument wskazywał m.in. że *UE powinna naciskać [!] na kraje członkowskie, aby szybko wprowadziły spójny system prawny oraz wskazały instytucje i organa odpowiedzialne za ułatwienie wykorzystania geotermii*.

□ Projekty współfinansowane przez UE dotyczące problemów prawnych i ekonomicznych rozwoju geotermii oraz aspektów finansowych, będące praktyczną realizacją *Deklaracji z Kistelek* – m.in. projekt *Regulacje prawne dotyczące geotermii – ciepło (Geothermal Regulations – Heat, GTR-H; www.gtrh.eu)* oraz *Geothermal Finance and Awareness in European Regions, GEOFAR (www.geofar.eu)*.

□ *Komunikat Komisji UE – Europejska polityka energetyczna*, ze stycznia 2007 r.: proponował długofalowy cel dla energetyki – wzrost udziału OZE w bilansie energetycznym UE z obecnego poziomu 7% do 20% w 2020 r. Komunikat stwierdzał m.in., że *Państwa UE powinny mieć możliwość elastycznego wyboru OZE najlepiej dostosowanych do ich potencjału i priorytetów. Sposób realizacji należy określić w krajowych planach działania*.

□ *Deklaracja z Brukseli (Brussels Declaration)* – przyjęta w lutym 2009 r. przez EGEC podczas konferencji w ramach projektu GTR-H – określa działania, jakie należy bezzwłocznie podjąć w kilku obszarach (badania, techno-

logie, prawo, przepisy, warunki ekonomiczne, edukacja, szkolenie i przygotowanie kadr), aby przyspieszyć rozwój wykorzystania energii geotermalnej w Europie, czemu sprzyjają zainteresowanie inwestorów i potencjalnych użytkowników, dyrektywa „3 × 20%”, inne zobowiązania międzynarodowe podjęte przez kraje europejskie i pilna konieczność zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego, niezawodności dostaw energii.

□ *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych („3 × 20%”)* – określa osiągnięcie średnio 20-procentowego udziału OZE w końcowej strukturze zużycia energii (ciepła, prądu i chłodu) do 2020 r. w krajach EU (dla Polski – 15%). Dyrektywa wśród OZE wymienia m.in. energię geotermalną jako perspektywiczną dla ciepłownictwa (chłodnictwa), ponadto generacji prądu. Jakkolwiek nie jest traktowana jako główne OZE w Europie, to jednak energia geotermalna ma perspektywy rozwoju, co powinno zostać określone m.in. w krajowych planach działania. Dla Polski takie propozycje opracowano m.in. w ramach projektu UE GTR-H i 7. programu ramowego UE na lata 2007–2013, który tworzy przestrzeń i ramy finansowe dla badań m.in. z zakresu energetyki i OZE, w tym energii geotermalnej.

□ *Powołanie European Geothermal Technology Platform* (czerwiec 2009 r., EGEC, Bruksela) jako jednej z europejskich platform technologicznych OZE. Platforma ma na celu określanie priorytetów i prac badawczo-rozwojowych w dziedzinie geotermii, które doprowadzą do osiągnięcia przez nią znaczącego udziału w bilansie energetycznym UE (określonym dla wszystkich OZE na 20% w 2020 r.).

Funkcjonują także różne programy finansowego wsparcia OZE (w tym adresowane częściowo do geotermii) ze strony UE i poszczególnych krajów. Na lata 2007–2013 głównym instrumentem unijnym jest Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko, zawierający m.in. kilka osi priorytetowych dotyczących energii, w tym OZE.

Zakończenie

Energia geotermalna stanowi w wielu krajach jedno z najbardziej perspektywicznych odnawialnych źródeł energii. Udoskonalane są istniejące i rozwijane nowe technologie, jak pompy ciepła, systemy binarne, wspomagane systemy geotermalne. Doświadczenia wskazują, że stosowanie energii geotermalnej przynosi bardzo znaczące wśród wszystkich OZE efekty ekologiczne, łączy się z komfortem użytkowania, nowoczesną infrastrukturą i powinno – jako lokalne źródło energii – być konkurencyjne cenowo i mało wrażliwe na zmiany cen tradycyjnych nośników energii na rynkach światowych.

Należy podkreślić, że w przeciwieństwie do innych OZE energia geotermalna jest dostępna bez ograniczeń cały rok, niezależnie od zmiennych warunków klimatycznych i pogodowych. Cechuje się najwyższymi wśród OZE współczynnikami wykorzystania mocy i czasu pracy w ciągu roku (nawet powyżej 80%), stąd też może i powinna pełnić rolę źródła pokrywającego bazowe zapotrzebowanie na moc i energię (a nie tylko jako źródła

szczytowego). Tego faktu nie bierze się niestety na ogół pod uwagę podczas porównywania nakładów na budowę instalacji różnych rodzajów OZE. Geotermia przyczynia się do realizacji zrównoważonych strategii energetycznych, zmniejsza uzależnienie od importowanych paliw, zwiększając zatem bezpieczeństwo energetyczne. Będzie temu służyć zwiększenie wykorzystywania energii geotermalnej w wielu krajach.

Energia geotermalna powinna stanowić jedno z głównych źródeł energii w XXI w., zaspokajając w istotny sposób zapotrzebowanie na czystą ekologicznie i lokalnie dostępną energię w wielu krajach i regionach, która przyczyni się do zrównoważonego rozwoju gospodarczego i poprawy poziomu życia społeczeństw. Na te aspekty wskazuje dobitnie Deklaracja z Bali (*Bali Declaration*) uroczyste przyjęta i podpisana podczas Światowego Kongresu Geotermalnego w Bali (Indonezja) w kwietniu 2010 r. (www.wgc2010.org).

Literatura

- ANTICS M. & SANNER B. 2007 – Status of geothermal energy use and resources in Europe. [In:] Proceedings of the European Geothermal Congress 2007. Unterhaching, Germany, 30 May–1 June 2007. CD.
- BERTANI R. 2010 – Geothermal power generation in the world 2005–2010 update report. [In:] Proceedings of the World Geothermal Congress, Bali (Indonesia), 25–29 April 2010. Paper No. 008 (CD).
- Brussels Declaration, 2009** – A Geothermal Europe – EGEC Brussels Declaration. European Geothermal Energy Council, Bruksela, 11.02.2009. <http://www.egec.org/news/EGEC%20Brussels%20Declaration%202009.pdf> [dostęp 21.06.2010].
- CHANDRASEKHAR V. & CHANDRASEKHARAM D. 2007 – Enhanced Geothermal Resources. Indian Scenario GRC Transactions., 31, 271–274.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE.** Dz.U. UE L z 5.06.2009, 140, 52: 16–62.
- GOLDSTEIN B.A., HILL A.J., BUDD A.R. & MALAVAZOS M. 2008 – Status of geothermal exploration and research in Australia. GRC Transactions, 32.
- HURTER S. & HAENEL R. (eds.) 2002 – Atlas of geothermal resources in Europe. Office for the Official Publications of the European Communities, Luxemburg.
- KĘPIŃSKA B. 2010 – Geothermal energy country update report from Poland, 2005–2009. [In:] Proceedings of the World Geothermal Congress, Bali (Indonesia), 2010. Paper No. 0108 (CD).
- The Kistelek Declaration, 2005** – Outcome Report of the TAIEX workshop on Regulatory and Economic Tools Governing the Enhanced Exploitation of Geothermal Energy in the European Union. www.egec.org/target/Kistelek%20Declaration.pdf [dostęp 21.06.2010].
- KNAPEK E. & KITTL G. 2007 – Unterhaching power plant and overall system. [In:] Proceedings of the European Geothermal Congress, Germany, 2007. Paper No. 048 (CD).
- Komunikat Komisji do Rady Europejskiej i Parlamentu Europejskiego – Europejska polityka energetyczna, 2007** – Bruksela, 10.1.2007.
- LINDAL B. 1973 – Industrial and other applications of geothermal energy, except power production and district heating. [In:] Amstead H.C.H. (ed.) Geothermal energy: review of research and development. Paris, UNESCO, LC, 72-97138: 135–148.
- LUND J.W., FREESTON D.H. & BOYD T.L. 2010 – Direct utilization of geothermal energy 2010 worldwide review. [In:] Proceedings of the World Geothermal Congress Bali (Indonesia), 25–29 April 2010. Paper No. 0007 (CD).
- SPARACINO M., CAMUSSI M., COLOMBO M., CARELLA R. & SOMMARUGA C. 2007 – The world's largest geothermal district heating using ground water under construction in Milan (Italy): an unified heat pump project. [In:] Proceedings of the European Geothermal Congress, Germany, 2007. Paper No. 143 (CD).

Praca wpłynęła do redakcji 16.03.2010 r.

Po recenzji akceptowano do druku 29.04.2010 r.