

Roman WICHOWSKI\*

## Wybrane zagadnienia wykorzystania energii geotermalnej w świecie i w Europie

SŁOWA KLUCZOWE: energia geotermalna, wykorzystanie energii geotermalnej

### Wprowadzenie

Możliwe do pozyskania światowe zasoby energii geotermalnej szacuje się na około  $3 \times 10^9$  PJ, co jest równoważne  $10^4$ -krotnemu zużyciu wszystkich nośników energii pierwotnej w ciągu roku w świecie (Fridleifsson 1996). Jednak większość zasobów wód geotermalnych znajduje się na bardzo dużych głębokościach, co powoduje nieopłacalność wydobycia lub niemożliwość ich pozyskania nawet przy założeniu dużego postępu technologicznego w dziedzinie wiertnictwa.

Obecnie energia geotermalna ma duże znaczenie jako nośnik energii pierwotnej tylko w przypadkach, gdy źródła geotermalne zalegają na głębokości do 3 km. Jest to tzw. ekonomiczna głębokość zalegania złóż ropy naftowej, którą pozyskuje się przy pomocy tych samych technologii wiertniczych i niejako przy okazji odkrywa się złoża geotermalne. W związku z tym nakłady na inwestycje związane z pozyskaniem energii geotermalnej są zawsze wyższe niż przy pozyskiwaniu ropy naftowej. Stąd ekonomiczna głębokość otworów geotermalnych dochodzi z reguły do 2 km, a tylko w nielicznych przypadkach — do 3 km.

Złoża wód geotermalnych o temperaturach powyżej  $130^\circ\text{C}$  spotykane są na obszarach o stonkowo młodej działalności wulkanicznej (np. Filipiny, Grecja, Indonezja, Islandia, Japonia,

---

\* Dr inż. — Wydział Inżynierii Środowiska Politechniki Gdańskiej, Gdańsk.

Recenzował doc. dr hab. inż. Eugeniusz MOKRZYCKI

Nowa Zelandia i Włochy). Źródła niskotemperaturowe ( $t < 130^{\circ}\text{C}$ ) są najczęściej spotykane w różnych krajach świata, a w tym także w Polsce. Wody geotermalne niskotemperaturowe zalegają zwykle w basenach sedymentacyjnych, w których występuje ropa naftowa i gaz ziemny. Baseny te zajmują ponad 50% powierzchni kontynentów (Sokołowski 1997).

Energię geotermalną można wykorzystywać w dwojaki sposób, tj. w sposób pośredni do produkcji energii elektrycznej i w sposób bezpośredni do różnych celów, a przede wszystkim do ogrzewania mieszkań i przygotowania ciepłej wody użytkowej. Konwencjonalne elektrownie geotermalne spotyka się raczej rzadko, ponieważ temperatura wód geotermalnych lub przegrzanej pary wodnej powinna być wyższa od  $130^{\circ}\text{C}$ . W przypadku bezpośredniego wykorzystania wód geotermalnych do celów grzewczych najbardziej odpowiednią temperaturą jest  $80^{\circ}\text{—}90^{\circ}\text{C}$ . Często jednak bezpośrednie wykorzystanie tych wód do celów grzewczych jest niemożliwe, ponieważ zawierają one bardzo duże ilości związków soli. Źródła geotermalne o niższych temperaturach ( $10^{\circ}\text{—}50^{\circ}\text{C}$ ) mogą być wykorzystywane do celów grzewczych przy zastosowaniu pomp ciepła, dla których stanowią tzw. dolne źródło ciepła.

## 1. Wykorzystanie energii geotermalnej w świecie

Całkowita zainstalowana moc elektryczna w elektrowniach geotermalnych na świecie wynosiła  $5867 \text{ MW}_e$  w 1990 roku,  $6796 \text{ MW}_e$  w 1995 roku i  $8240 \text{ MW}_e$  w 1998 roku. Nastąpił zatem wzrost o ponad 40% w porównaniu do 1990 roku. Roczna produkcja energii elektrycznej we wszystkich elektrowniach geotermalnych na świecie wynosiła  $38 \text{ TW}\cdot\text{h}$  (Fridleifsson 1996; International... 1998).

Zainstalowana moc cieplna źródeł wykorzystujących energię geotermalną w sposób bezpośredni wynosiła w 1994 roku  $9047 \text{ MW}$ , natomiast ilość ciepła pochodzącego ze źródeł geotermalnych i wykorzystywanego w sposób bezpośredni w ciągu roku ocenia się na około  $33,5 \text{ TW}\cdot\text{h}$  (Fridleifsson 1996). W tabeli 1 przedstawiono zainstalowaną moc elektryczną i cieplną oraz produkcję energii elektrycznej i ciepła w 1994 roku w 25 wybranych krajach świata (Fridleifsson 1996).

Jak wynika z tabeli 1, największa produkcja energii elektrycznej w 1994 roku miała miejsce w USA, ponieważ stanowiła ponad 43% całkowitej produkcji energii elektrycznej w oparciu o geotermię we wszystkich krajach świata. Na drugim miejscu był Meksyk (15,5%), a na trzecim miejscu Włochy z 9% udziałem w odniesieniu do produkcji globalnej.

Produkcja energii elektrycznej w oparciu o geotermię ma miejsce w 21 krajach świata, wśród których występują zarówno kraje uprzemysłowione, jak i rozwijające się. W tych ostatnich energia geotermalna, wykorzystywana do produkcji energii elektrycznej, odgrywa znacznie większą rolę aniżeli w krajach rozwiniętych. Jako przykład można podać takie kraje jak Filipiny, Kenia, Nikaragua i Salwador, w których udział energii elektrycznej produkowanej w oparciu o geotermię i sprzedawanej do sieci państwowej wynosi 10—20%.

Rozkład wykorzystania energii geotermalnej w sposób bezpośredni jest inny niż w przypadku energii elektrycznej. Większy udział w bezpośrednim wykorzystaniu mają kraje uprzemysłowione oraz kraje Europy Centralnej i Wschodniej. Wyjątkiem od tej zasady są jedynie Chiny, w których udział produkcji ciepła w oparciu o geotermię wyniósł 16,5% w 1994 roku i był tylko

TABELA 1. Produkcja energii elektrycznej i produkcja ciepła przy wykorzystaniu energii geotermalnej w 1994 roku (Fridleifsson 1996)

TABLE 1. Electricity and heat production using geothermal energy in 1994 (Fridleifsson 1996)

Nazwa kraju	Energia elektryczna		Wykorzystanie bezpośrednie	
	zainstalowana moc [MW <sub>e</sub> ]	produkcja energii [GW·h/rok]	zainstalowana moc [MW <sub>t</sub> ]	produkcja ciepła [GW·h/rok]
Chiny	28	98	2 143	5 527
Filipiny	1 501	5 470	—	—
Francja	4	24	456	2 006
Gruzja	—	—	245	2 136
Indonezja	309	1 048	—	—
Islandia	50	265	1 443	5 878
Japonia	299	1 722	319	1 928
Kenia	45	348	—	—
Kostaryka	60	447	—	—
Macedonia	—	—	70	142
Meksyk	753	5 877	28	74
Nikaragua	70	—	—	—
Nowa Zelandia	286	2 193	264	1 837
Polska	—	—	63	206
Rosja	11	25	210	673
Rumunia	2	—	137	765
Salwador	105	419	—	—
Serbia	—	—	80	600
Słowacja	—	—	100	502
Szwajcaria	—	—	110	243
Tunezja	—	—	90	788
Turcja	20	68	140	552
USA	2 817	16 491	1 874	3 859
Węgry	—	—	638	2 795
Włochy	626	3 419	308	1 008
Pozostałe kraje	7	40	329	1 935
<b>Razem:</b>	<b>6 543</b>	<b>37 952</b>	<b>9 047</b>	<b>33 514</b>

nieznacznie niższy od udziału w Islandii (17,5%). Na trzecim miejscu były USA (11,5%), a na czwartym Węgry z ponad 8% produkcją ciepła w oparciu o geotermię. Polska zajmowała 17 miejsce przy udziale 0,6% w skali globalnej, przy pominięciu pozycji „pozostałe kraje”.

Największy udział w bezpośrednim wykorzystaniu energii geotermalnej ma centralne ogrzewanie budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej (34%). Poza tym energię geotermalną stosuje się także w wodolecznictwie i do podgrzewania wody w basenach kąpielowych (14%), w szklarniach (14%), w pompach ciepła do potrzeb grzewczych i chłodniczych (13%), w hodowli ryb (9%) i w przemyśle do celów grzewczych i technologicznych (9%) oraz na inne cele (7%). Z przeprowadzonych analiz dotyczących bezpośredniego wykorzystania energii geotermalnej wynika, że bardzo duży potencjał istnieje w krajach rozwijających się, w których energia ta może być stosowana na szerszą skalę w procesach suszenia owoców, ryb, skór itp., a także w chłodnictwie i klimatyzacji (Fridleifsson 1996).

Stopień wykorzystania energii geotermalnej do celów grzewczych w przyszłości będzie zależał od poziomu światowych cen podstawowych nośników energii, tj. gazu ziemnego i oleju opałowego. Ogólnie spodziewany jest większy wzrost bezpośredniego wykorzystania energii geotermalnej aniżeli stopień produkcji energii elektrycznej w oparciu o geotermię. Mają na to wpływ dwie przyczyny: 1) liczba źródeł geotermalnych niskotemperaturowych jest znacznie większa niż wysokotemperaturowych ( $t > 130^{\circ}\text{C}$ ), które mogą być wykorzystywane do produkcji energii elektrycznej, 2) koszty inwestycyjne związane z bezpośrednim wykorzystaniem energii geotermalnej są niższe niż w przypadku elektrowni geotermalnych.

Bardzo obiecujące efekty może dać wykorzystanie źródeł geotermalnych o niskich temperaturach ( $10^{\circ}$ — $50^{\circ}\text{C}$ ) jako dolnego źródła energii w pompach ciepła. Wiodącym krajem pod tym względem są USA, gdzie zainstalowana moc cieplna w pompach grzewczych, które wykorzystują wody geotermalne, wynosiła 2072 MW<sub>t</sub> w 1993 roku, a roczna produkcja energii — 2,4 TW·h. W najbliższych latach spodziewany jest największy udział tego typu instalacji, które będą wykorzystywane do celów grzewczych i chłodniczych.

Pompy ciepła wykorzystujące niskotemperaturowe źródła geotermalne przyczyniają się do 30% redukcji zużycia energii w porównaniu do pomp ciepła typu powietrze-powietrze oraz do 60% redukcji zużycia energii w porównaniu do ogrzewań elektrycznych i ogrzewań przy wykorzystaniu tradycyjnych kopalnych nośników energii. Oprócz USA spodziewany jest znaczny wzrost liczby pomp ciepła wykorzystujących wody geotermalne także w innych krajach europejskich, takich jak: Francja, Niemcy, Szwajcaria i Szwecja (Freeston 1996).

## **2. Przykłady bezpośredniego wykorzystania energii geotermalnej w niektórych krajach europejskich**

Szczegółowe dane dotyczące bezpośredniego wykorzystania energii geotermalnej w świecie pochodzą z materiałów Światowego Kongresu Geotermalnego, który odbył się w 1995 roku we Florencji (Praca zbiorowa... 1994) oraz pracy D.H. Freestona „Direct uses of geothermal energy 1995” (Freeston 1996). Ze względu na ograniczoną objętość niniejszej pracy, bardziej szczegółowe informacje na temat bezpośredniego wykorzystania energii geotermalnej przedstawiono tylko w odniesieniu do wybranych krajów europejskich.



**Bulgaria.** Potencjał mocy cieplnej zawartej w wodach geotermalnych szacuje się na 488 MW<sub>t</sub>, z czego jedna trzecia może być wykorzystana przy użyciu wymienników ciepła, a dwie trzecie — pomp ciepła. Nie uwzględnia się tutaj wód geotermalnych o temperaturze w granicach 32°—42°C, ponieważ zgodnie z prawem obowiązującym w Bułgarii wody te mogą być wykorzystywane tylko do celów balneologicznych, stanowiących największy udział (15%).

Wody geotermalne wykorzystuje się w Bułgarii do następujących celów:

◆ balneologia i wodolecznictwo	15,0%
◆ ogrzewanie budynków	9,4%
◆ przemysł	7,6%
◆ szklarnie	4,9%
◆ baseny kąpielowe	4,5%
◆ woda do picia i napoje	1,4%

Reszta potencjalnych zasobów wód geotermalnych, tj. 57,2%, nie jest wykorzystywana do żadnych celów. Szacunkowe analizy projektów wykorzystania energii geotermalnej do celów grzewczych pokazują, że cena jednostki energii cieplnej wyprodukowanej w oparciu o wody geotermalne byłaby 2—4 razy niższa niż cena energii na bazie paliw kopalnych. Czas zwrotu inwestycji wynosiłby 2,5—8 lat. Od 1990 roku wykonano 15 otworów eksploatacyjnych o głębokości 300—2000 m, a w latach 1994—1995 zainwestowano w geotermię 820 tys. USD. W 1995 roku zainstalowana moc cieplna wynosiła 293 MW<sub>t</sub>, a produkcja ciepła 2772 TJ/rok.

**Francja.** Stosowanie energii geotermalnej obserwuje się we Francji od ponad 30 lat. Energia geotermalna wykorzystywana jest głównie do celów grzewczych oraz do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Około 40 ciepłowni geotermalnych jest zlokalizowanych w Basenie Paryskim, a 14 — w regionie Aquitaine. Niektóre z tych ciepłowni są wykorzystywane w rolnictwie. Około tysiąca płytkich źródeł geotermalnych eksploatuje się do celów grzewczych i klimatyzacyjnych przy zastosowaniu pomp ciepła. Łącznie zainstalowano ponad 30 000 pomp ciepła, które podwyższają temperaturę wód geotermalnych, aby bezpośrednio wykorzystać je do celów grzewczych, klimatyzacji, ogrzewania szklarni i podgrzewania wody w basenach kąpielowych. Większość tych instalacji została zbudowana w latach 1981—1986.

Od 1986 roku wykonano większą część z 55 dubletów w Basenie Paryskim, na których prowadzi się badania dotyczące wielkości zasobów i możliwości eksploatacyjnych. Od 1975 roku wydano we Francji 1,32 mld USD na badania, rozwój i wykorzystanie energii geotermalnej. Z tej sumy 640 mln USD wydano w latach 1985—1994. Zużycie energii geotermalnej we Francji w 1990 roku wynosiło ponad 5522 TJ/rok.

**Islandia.** Wiele szczegółowych informacji na temat znaczenia i sposobów wykorzystania energii geotermalnej w Islandii przedstawiono w pracy (Wichowski 1998). Islandia jest jednym z bardziej aktywnych wulkanicznie krajów świata i bardzo młodym lądem, który podlega ciągłym przemianom formacji geologicznych. Historia wykorzystywania energii geotermalnej w tym kraju jest dość długa, ponieważ sięga początków zasiedlenia, tj. około 800 roku, kiedy zaczęto stosować wody geotermalne do gotowania i prania. Pierwsze odwierty dla wykorzystania gorących źródeł geotermalnych zostały wykonane w Reykjavíku w latach 1755—1756, a następne otwory eksploatacyjne wykonano dopiero przed II wojną światową, tj. w latach 1928—1930.

Energia geotermalna jest stosowana w Islandii przede wszystkim do celów grzewczych (budynki mieszkalne i użyteczności publicznej) — około 85% wszystkich budynków jest ogrzewane

przy wykorzystaniu wód geotermalnych. Około 20% energii geotermalnej wykorzystuje się do produkcji energii elektrycznej, co stanowi 5% całkowitego zużycia energii elektrycznej w tym kraju.

Sumaryczna wydajność źródeł geotermalnych wynosi 5794 kg/s, a średnia roczna produkcja energii 21 160 TJ/rok. Całkowita moc cieplna zainstalowana w źródłach geotermalnych wynosiła 774 MW<sub>t</sub> w 1990 i 1443 MW<sub>t</sub> w 1995 roku. Najwięcej energii geotermalnej (około 62%) zużywa się do celów grzewczych, a największy system ciepłowniczy w Islandii znajduje się w Reykjavíku, w którym zaopatruje się w ciepło około 145 000 ludzi (99,8% ludności Reykjavíku i pięciu sąsiednich gmin), przy kubaturze ogrzewanych mieszkań 37 600 m<sup>3</sup>.

Wodę geotermalną o średniej temperaturze 75°C wydobywa się z 56 otworów eksploatacyjnych, a zainstalowana całkowita moc cieplna systemu wynosi 640 MW<sub>t</sub>. Poza celami grzewczymi energię geotermalną wykorzystuje się do podgrzewania wody w 120 basenach kąpielowych o powierzchni 23 000 m<sup>2</sup>, w specjalnych systemach do topienia śniegu i lodu o powierzchni 350 000 m<sup>2</sup>, w szklarniach o powierzchni około 175 000 m<sup>2</sup> oraz w 75 gospodarstwach hodowli ryb na skalę przemysłową. W Islandii wykorzystuje się także energię geotermalną do ogrzewania zakładów przemysłowych oraz do celów technologicznych w tych zakładach. W ostatnim dziesięcioleciu wydano około 293 mln USD na badania i inwestycje związane z wykorzystaniem energii geotermalnej (Wichowski 1998).

**Polska.** Energię geotermalną znano w Polsce już w X wieku i była ona głównie wykorzystywana w celach leczniczych. Do najstarszych polskich uzdrowisk, w których stosowano wody geotermalne należą: Łądek Zdrój (X wiek), Cieplice (XIII wiek), Ciechocinek (XII wiek), Zakopane-Jaszczurówka (XIX wiek), Iwonicz Zdrój i Rabka (XIX wiek). Temperatura wód geotermalnych jest różna w tych miejscowościach i waha się od 20 do 62°C. W chwili obecnej na 36 czynnych w Polsce uzdrowisk, osiem z nich wykorzystuje w dalszym ciągu wody geotermalne. Należą do nich: Ciechocinek, Cieplice, Iwonicz, Łądek, Konstancin, Rabka, Ustroń i Zakopane (Polish Geothermal... 1995).

Badania przeprowadzone przy okazji poszukiwania ropy naftowej w 1985 roku wykazały, że wody geotermalne występują w Polsce na obszarze około 250 000 km<sup>2</sup>, zamieszkałym przez prawie 30 mln ludzi. Według J. Sokołowskiego (1997) Polska należy do krajów o dość dużych zasobach wód geotermalnych, charakteryzujących się jednak niezbyt wysoką temperaturą.

W oparciu o konkretne przykłady (Mszczonów, Podhale, Pyrzyce i Żyrardów) wykazano opłacalność ekonomiczną dostawy ciepła geotermalnego do różnych grup odbiorców. W Polsce, podobnie jak i w innych krajach, istnieją możliwości kompleksowego wykorzystania energii geotermalnej do różnych celów, np. w ciepłownictwie, chłodnictwie, suszarnictwie, hodowli warzyw i kwiatów oraz w wodolecznictwie i rekreacji.

Zasoby wód geotermalnych w Polsce przedstawiono w oparciu o pracę zbiorową pod redakcją J. Solińskiego (Praca zbiorowa... 1994), w której dokonano podziału Polski na tzw. okręgi (tab. 2). W tabeli tej oceniono zasoby energetyczne wód geotermalnych za pomocą równoważnej ilości węgla, jaką można zaoszczędzić przez wykorzystanie energii geotermalnej. Ilość energii chemicznej węgla wyraża się zwykle w tonach paliwa umownego (tpu.) (Szargut 1990).

Średnia temperatura wód geotermalnych w wymienionych dziewięciu okręgach waha się od 45°C w okręgu grudziądzko-warszawskim do 76°C w okręgu szczecińsko-łódzkim. Niezbyt wysoka temperatura tych wód powoduje, że można je wykorzystywać przede wszystkim do ogrze-



TABELA 2. Potencjalne zasoby energii geotermalnej w Polsce (Polish Geothermal... 1995;  
Praca zbiorowa... 1994; Szargut 1990)

TABLE 2. Potential geothermal energy reserves in Poland (Polish Geothermal ... 1995;  
Praca zbiorowa .... 1994; Szargut 1990)

Lp.	Nazwa okręgu	Powierzchnia obszaru [km <sup>2</sup> ]	Objętość wód geotermalnych [km <sup>3</sup> ]	Zasoby energii cieplnej [mln tpu.]
1.	Grudziądzko-warszawski	70 000	2 766	9 835
2.	Szczecińsko-łódzki	67 000	2 854	18 812
3.	Przedsudecko-północnoświętokrzyski	39 000	155	995
4.	Pomorski	12 000	21	162
5.	Lubelski	12 000	30	193
6.	Przybałycki	15 000	38	241
7.	Podlaski	7 000	17	113
8.	Przedkarpacki	16 000	362	1 555
9.	Karpacki	13 000	100	714
	<b>Razem</b>	<b>251 000</b>	<b>6 343</b>	<b>32 620</b>

wania budynków. Zawierają jednak dość dużo związków soli i z tego powodu nie mogą być bezpośrednim nośnikiem ciepła w sieciach cieplnych i w instalacjach c.o. Możliwe jest zatem zasilenie sieci cieplnych lub instalacji c.o. ze stacji wymienników ciepła, które byłyby zlokalizowane w pobliżu miejsc wydobywania wód geotermalnych.

Innym sposobem wykorzystania wód geotermalnych o stosunkowo niskich temperaturach jest zastosowanie pomp ciepła. Trzeba jednak pamiętać, że wzrastają wówczas znacznie koszty inwestycyjne, a do napędu sprężarek pomp grzewczych konieczna jest energia elektryczna lub paliwa płynne przy napędach spalinowych. Niewątpliwą zaletą pomp ciepła w takich układach jest to, że pozwalają one wykorzystywać źródła geotermalne o niskich temperaturach (10°—50°C).

W latach 1987—1994 wykonano szereg odwiertów w poszukiwaniu wód geotermalnych w Polsce, a konkretne działania zostały podjęte na Podhalu, w Pырzycach koło Szczecina oraz w województwie skierniewickim (Mszczonów, Skierniewice, Żyrardów). Budowa doświadczalnej ciepłowni geotermalnej w Białym Dunajcu na Podhalu została zakończona w styczniu 1993 roku. Po roku 2000 rozbudowana ciepłownia ma ogrzewać wieś Bańska Niżna (ok. 250 budynków), część Zakopanego (po zbudowaniu sieci cieplnej) oraz wieś Biały Dunajec (ok. 1000 budynków).

Według P. Długosza (1997) produkcja ciepła geotermalnego odbywać się będzie w systemie zamkniętym: gorąca woda o temperaturze 84°—88°C po przejściu przez węzeł cieplny z wymiennikami płytowymi i po przekazaniu ciepła do obiegu wtórnego, schłodzi się do temperatury 45°C i zostanie doprowadzana do otworu zatłaczającego. W skład całego systemu ciepłowniczego wejdą takie elementy, jak: ciepłownia geotermalna na terenie gmin Szaflary i Biały Dunajec, kotłownie szczytowe opalane gazem ziemnym w Zakopanem i Nowym Targu, magistralna sieć

cieplna wykonana z rur preizolowanych, która połączy Zakopane i Nowy Targ. Poza tym w skład systemu ciepłowniczego będą wchodziły pompownie i stacje redukcji ciśnienia w Poroninie i w Zakopanem oraz sieć ciepłownicza dystrybucyjna wraz z podłączeniami istniejących odbiorców ciepła (Długosz 1997).

W mieście Pырzyce (woj. zachodniopomorskie), zamieszkałym przez około 16 000 ludzi, oddano do użytku w końcu 1995 roku nowoczesną ciepłownię geotermalną o mocy 50 MW<sub>t</sub>, w której wody geotermalne o stosunkowo niskiej temperaturze (25°C) będą wykorzystywane jako dolne źródło energii w dwóch pompach grzewczych o sumarycznej mocy cieplnej 18 MW<sub>t</sub>.

W byłym województwie skierniewickim istnieją trzy projekty dotyczące wykorzystania energii geotermalnej do celów grzewczych. Jeden z projektów dotyczy uciepłownienia Żyrardowa, a dwa pozostałe projekty znajdują się w fazie realizacji i dotyczą Skierniewic i Mszczonowa.

W 1995 roku całkowita zainstalowana moc cieplna w geotermii wynosiła 63 MW<sub>t</sub>, a produkcja ciepła w oparciu o energię geotermalną 700—775 TJ/rok. W latach 1985—1994 przeznaczono około 60 mln USD na program wykorzystania wód geotermalnych do celów grzewczych.

**Rosja.** Poza Kamczatką, gdzie pracuje elektrownia geotermalna o mocy 11 MW<sub>e</sub>, energia geotermalna jest wykorzystywana głównie do celów grzewczych. Sześć miast i osiem dużych osiedli, o całkowitej liczbie ludności ponad 220 000, jest ogrzewane przy wykorzystaniu energii geotermalnej. Powierzchnia szklarni, w których wykorzystuje się geotermię, wynosi około 340 000 m<sup>2</sup>. Bezpośrednie wykorzystanie energii geotermalnej w Rosji ma miejsce na Północnym Kaukazie, Zachodniej Syberii, w okolicach jeziora Bajkał i na obszarze Kamczatki. Do końca 1994 roku wykonano 367 otworów, z których 185 było otworami eksploatacyjnymi, 10 — otworami zatłaczającymi, a 86 otworów to studnie badawcze. Całkowita wydajność wynosiła 1240 kg/s, produkcja energii — 8180 TJ/rok, a zainstalowana moc cieplna — 210 MW<sub>t</sub>.

Na Kamczatce wody geotermalne o temperaturze 80—100°C wykorzystywane są głównie w celach grzewczych i obecnie budowany jest 80 km odcinek magistrali ciepłowniczej dla połączenia ciepłowni Mutnowski z miastem Elizowo. Z całkowitej ilości energii geotermalnej 45% wykorzystuje się do celów grzewczych, 48% do ogrzewania szklarni i ponad 1,5% w celach przemysłowych, np. do mycia wełny, produkcji papieru, suszenia drewna itd. W rejonie tym znajduje się około 150 łaźni komunalnych i około 40 zakładów, które produkują wodę mineralną, wykorzystując wody geotermalne.

W Rosji znajduje się 14 instytucji, które są zaangażowanych w projekty mające na celu wykorzystanie energii geotermalnej, 26 instytutów naukowych, dwa uniwersytety i 5 biur projektowych. Łączny koszt wszystkich projektów związanych z geotermią szacuje się na 600 mln USD.

**Rumunia.** Według danych z 1995 roku, całkowita liczba otworów eksploatacyjnych w Rumunii wynosiła 195, z czego 54 studnie mają wydajność 792 kg/s wody o temperaturze 40°—105°C. Całkowita zainstalowana moc cieplna wynosiła 137 MW<sub>t</sub>, a roczna produkcja energii — 2753 TJ/rok. Energia geotermalna jest wykorzystywana głównie do celów grzewczych (ok. 3000 mieszkań), do ogrzewania szklarni (47 ha), do przygotowywania ciepłej wody użytkowej (16 000 mieszkań) oraz do przygotowywania ciepłej wody do celów przemysłowych i balneologicznych. Niektóre wody geotermalne w Rumunii mają dużą zawartość metanu (80°—90%) o wartości opałowej około 35 MJ/m<sup>3</sup>.

Obecnie trwają prace nad kilkoma projektami, m.in. budową nowych otworów eksploatacyjnych w Santadrei, gdzie spodziewane są wody geotermalne o dostatecznie wysokiej temperatu-



rze — odpowiedniej do wykorzystania w generatorach do produkcji energii elektrycznej. W ostatnim dwudziestolecu zainwestowano w geotermię około 259 mln USD, z czego około 60 mln USD wydano w ostatnich dziesięciu latach. Wszystkie pieniądze pochodziły z funduszy publicznych.

**Słowacja.** W Słowacji odkryto 26 złóż wód geotermalnych, stanowiących 27% obszaru tego kraju. Począwszy od 1971 roku wykonano 61 otworów eksploatacyjnych, których łączna wydajność wynosi 500 kg/s wody o temperaturze 2°—92°C. Całkowita moc cieplna możliwa do pozyskania wynosi 6600 MW<sub>t</sub>, we wschodnim Basenie Słowackim. Temperatury niskie (<100°C) znajdują się w 26 basenach, natomiast 16 obszarów geotermalnych ma wodę o temperaturze 100°—150°C. W rejonie Koszyc znajdują się źródła geotermalne o średniej i wysokiej temperaturze wody, która może być wykorzystana do produkcji energii elektrycznej (moc 25—30 MW<sub>e</sub>).

Całkowita wydajność wszystkich eksploatowanych źródeł wynosi 353 kg/s, a roczna produkcja energii — 1808 TJ/rok. Około 49% całkowitej ilości energii geotermalnej wykorzystuje się w szklarniach, a 36% do podgrzewania wody w basenach kąpielowych. Poza tym wykorzystuje się energię geotermalną w hodowli ryb i do celów grzewczych. Całkowita moc cieplna źródeł geotermalnych wynosi 100 MW<sub>t</sub>. W przyszłości planuje się wykorzystanie energii geotermalnej w obiektach sportowych oraz do celów grzewczych w budynkach mieszkalnych i przemysłowych.

**Węgry.** Do 1993 roku całkowita liczba czynnych otworów eksploatacyjnych wynosiła 1152. Jednak w tym roku wyłączono z eksploatacji 342 studnie geotermalne i po inwentaryzacji z 1995 roku doliczono się na Węgrzech 810 otworów eksploatacyjnych. Ilość wód geotermalnych pozyskiwanych z czynnych studni szacuje się na 6000 kg/s, a około 50% tych wód ma temperaturę w granicach 30°—40°C. Do celów pitnych wykorzystuje się 29,9%, w balneologii — 27,3%, w rolnictwie — 26%, do celów grzewczych — 1,3% i 15,5% do innych celów. Wydobycie wód geotermalnych zmniejszyło się w ostatnich latach z 493 Mm<sup>3</sup> w roku 1989 do 190 Mm<sup>3</sup> w roku 1993. Energia geotermalna stanowi na Węgrzech 0,25% całkowitego zużycia energii.

W latach 1990—1994 oddano do użytku tylko jedną instalację geotermalną, a od 1990 roku praktycznie nie inwestuje się na Węgrzech w badania nad wykorzystaniem wód geotermalnych. Ilość energii geotermalnej wykorzystywanej ostatnio w rolnictwie i dla potrzeb grzewczych wynosi około 1600 TJ/rok, co stanowi 27,3% całkowitej ilości energii geotermalnej. Pozostałe 72,7% wykorzystuje się w balneologii (1600 TJ/rok), w postaci wody pitnej (3352 TJ/rok) i do innych celów (908 TJ/rok). Zainstalowana moc cieplna wynosi około 340 MW<sub>t</sub>.

**Włochy.** W latach 1990—1994 wzrosła we Włoszech zainstalowana moc elektryczna w oparciu o energię geotermalną do 666 MW<sub>e</sub>, a produkcja energii elektrycznej wynosiła 3667 GWh w 1993 roku. Stanowiło to 1,6% całkowitej produkcji energii elektrycznej we Włoszech. Od początku 1990 roku wywiercono około 70 otworów badawczych, eksploatacyjnych i zatłaczających. Głębokości tych otworów wahały się od 292 do 3828 m, a maksymalne temperatury od 128° do 363°C. Wielkość wydatków wahała się od zera do 165 kg/s.

Całkowite bezpośrednie zużycie energii geotermalnej we Włoszech wynosiło w połowie lat dziewięćdziesiątych około 2700 TJ/rok przy zainstalowanej szczytowej mocy cieplnej 240 MW<sub>t</sub>. Znaczna część energii geotermalnej jest wykorzystywana w balneologii i do podgrzewania wody w basenach kąpielowych (74% w 1995 roku), a w hodowli ryb wykorzystuje się zaledwie 1,2% całkowitej ilości energii geotermalnej.

W ostatnim dziesięcioleciu zainwestowano we Włoszech 1,655 mld USD. Z tej sumy 0,1% przeznaczono na bezpośrednie wykorzystanie energii geotermalnej do celów grzewczych, a 27% na cele związane z produkcją energii elektrycznej. Reszta została przeznaczona na badania, a w tym — badania terenowe i poszukiwania nowych źródeł energii geotermalnej, obejmujące między innymi wiercenia nowych otworów eksploatacyjnych.

### 3. Porównanie energii geotermalnej z innymi rodzajami energii odnawialnej i inwestycje związane z wykorzystaniem energii geotermalnej

Całkowitą zainstalowaną moc elektryczną oraz produkcję energii elektrycznej w roku 1994 w oparciu o energię geotermalną i inne rodzaje energii odnawialnej przedstawiono w tabeli 3 (Fridleifsson 1996), a w tabeli 4 przedstawiono sumaryczne zestawienie inwestycji związanych z wykorzystaniem energii geotermalnej w latach 1973—1982 i 1983—1992 w różnych regionach świata. W zestawieniu tym zostały uwzględnione tylko te kraje, w których zainwestowano ponad 2 mln USD w okresie dwudziestolecia 1973—1992 (Fridleifsson 1993).

TABELA 3. Produkcja energii elektrycznej w oparciu o różne rodzaje energii odnawialnej (Fridleifsson 1996)

TABLE 3. Electricity production based on different kinds of renewables (Fridleifsson 1996)

Rodzaj energii	Zainstalowana moc elektryczna		Produkcja energii elektrycznej w ciągu roku	
	MW <sub>e</sub>	%	GW-h/rok	%
Geotermia	6 456	61	37 976	86
Energia wiatru	3 517	33	4 878	11
Energia słońca	366	3	897	2
Energia pływów	261	3	601	1
<b>Razem</b>	<b>10 600</b>	<b>100</b>	<b>44 352</b>	<b>100</b>

Jak wynika z tabeli 3, największy udział z wymienionych czterech rodzajów energii odnawialnej miała energia geotermalna, ponieważ zainstalowana moc elektryczna stanowiła 61%, a produkcja energii elektrycznej w ciągu roku aż 86%. Na drugim miejscu znajduje się energia wiatru (moc 33%, produkcja energii — 11%). Pozostałe rodzaje energii odnawialnej nie mają większego znaczenia. W zestawieniu tym brakuje biomasy, której potencjał jest bardzo duży, ponieważ światowa produkcja biomasy w ciągu roku wynosi około  $3 \times 10^6$  PJ, co jest wielkością 8-krotnie większą od światowego zużycia energii pochodzącej ze wszystkich źródeł.

Duży udział elektrowni geotermalnych w produkcji energii elektrycznej świadczy o wysokiej sprawności tych elektrowni, wynoszącej 80—90% i dużej niezawodności w porównaniu z pozostałymi źródłami energii odnawialnej. Elektrownie geotermalne mogą pracować niezależnie od pory dnia i roku oraz od prędkości wiatru, która jest tak istotna w przypadku elektrowni wiatro-

wych. Elektrownie geotermalne — ze względu na stabilną pracę w ciągu dowolnego przedziału czasu — mogą być wykorzystywane jako elektrownie pracujące w podstawie lub jako elektrownie szczytowe. W praktyce spotyka się tego rodzaju elektrownie jako pracujące w podstawie.

Energię geotermalną traktuje się — z punktu widzenia dłuższego okresu czasu, liczonego w dziesiątkach lat — jako energię odnawialną. Biorąc jednak pod uwagę okres liczony od zatłoczenia zużytej wody geotermalnej i ponownego jej wydobywania — który może wynosić kilkadziesiąt lat — można rozpatrywać energię geotermalną jako nieodnawialną. Odnośnikiem może być tutaj przeciętny okres aktywności człowieka lub przeciętna długość życia ludzkiego.

Jak wynika z tabeli 4, całkowite koszty inwestycyjne w geotermii w latach 1973—1992 wyniosły około 22 mld USD. Z tej sumy 7,6 mld USD zainwestowano w latach 1973—1982, a 14,3 mld USD w latach 1983—1992, co wskazuje na wzrost inwestycji w drugim dziesięcioleciu o 88%.

TABELA 4. Inwestycje związane z wykorzystaniem energii geotermalnej w różnych regionach świata w latach 1973—1992 (Fridleifsson 1993)

TABLE 4. Geothermal energy utilisation — investments in different regions of the world 19973—1992 (Fridleifsson 1996)

Lp.	Region świata	Lata	Całkowita suma inwestycji [mln USD]
1.	Afryka	1973—1982	129
		1983—1992	143
2.	Ameryka Południowa	1973—1982	484
		1983—1992	693
3.	Ameryka Północna	1973—1982	2 353
		1983—1992	5 168
4.	Azja	1973—1982	2 448
		1983—1992	4 758
5.	Europa centralna i wschodnia	1973—1982	327
		1983—1992	600
6.	Europa zachodnia	1973—1982	1 824
		1983—1992	2 755
7.	Oceania	1973—1982	34
		1983—1992	214
	Razem	1973—1982	7 599
		1983—1992	14 331
	<b>Ogółem</b>	<b>1973—1992</b>	<b>21 929</b>

W tabeli 4 wzięto pod uwagę następujące kraje: **Afryka**: Dżibuti, Etiopia, Kenia i Tunezja; **Azja**: Chiny, Indonezja, Filipiny i Japonia; **Ameryka Południowa**: Argentyna, Boliwia, Chile, Gwatemala, Honduras, Kostaryka, Meksyk, Nikaragua i Salwador; **Europa Centralna i Wschodnia**: Bułgaria, Czechy, Polska, Rumunia, kraje byłej Jugostawii, Turcja, kraj byłego ZSRR i Węgry; **Ameryka Północna**: USA; **Europa Zachodnia**: Belgia, Francja, Grecja, Hiszpania, Holandia, Islandia, Niemcy, Portugalia, Szwajcaria, Wielka Brytania i Włochy; **Oceania**: Nowa Zelandia.



W okresie całego dwudziestolecia 1973—1992 wielkość inwestycji związanych z geotermią w każdym z 30 krajów przekroczyła 20 mln USD, w każdym z 12 krajów — ponad 200 mln USD i w każdym z 5 krajów — 1 mld USD. Do tych ostatnich należą: USA — 7,5 mld USD, Japonia — 5,3 mld USD, Włochy — 2,4 mld USD, Islandia — 1,2 mld USD i Filipiny — 1,1 mld USD. Około 17,6 mld USD (80%) zainwestowano w krajach uprzemysłowionych, 3,5 mld USD (16%) w krajach rozwijających się i 0,8 mld USD (4%) w krajach Europy Centralnej i Wschodniej. Przyrost inwestycji związanych z wykorzystaniem energii geotermalnej w latach 1983—1992 był o 98% większy w krajach uprzemysłowionych w porównaniu do dekady 1973—1982. Odpowiednie liczby dla krajów rozwijających się wynoszą 44%, a dla krajów Europy Centralnej i Wschodniej — 113%.

Analiza udziału funduszy publicznych i prywatnych w inwestycjach związanych z geotermią pokazuje, że w latach 1973—1982 zainwestowano 4,6 mld USD funduszy publicznych i 3 mld USD funduszy prywatnych, natomiast w dekadzie 1983—1992 udział ten wyniósł odpowiednio 6,6 mld USD i 7,7 mld USD. Warto więc podkreślić, że w drugiej dekadzie nastąpił przyrost inwestycji ze środków prywatnych o 160%, a inwestycji ze środków publicznych tylko o 43%. Wynika z tego, że inwestycje w geotermii są traktowane jako opłacalne, co pokazuje rachunek ekonomiczny w takich krajach jak Islandia i Włochy.

Inwestycje związane z geotermią w krajach Europy Centralnej i Wschodniej szacuje się na około 300 mln USD w latach 1973—1982 i na 600 mln USD w latach 1983—1992. W krajach tych podstawowym nośnikiem energii pierwotnej był i jest do chwili obecnej węgiel kamienny. Energia geotermalna była natomiast wykorzystywana tylko w niewielkim stopniu do celów balneologicznych w sanatoriach i w basenach kąpielowych oraz w szklarniach. W ostatnich latach zaczęto dopiero wykorzystywać ten rodzaj energii do celów grzewczych.

## **Podsumowanie i wnioski końcowe**

1. W mijającym stuleciu odkryto na świecie ponad 190 basenów sedymentacyjno-geotermalnych o łącznej powierzchni blisko 52 mln km<sup>2</sup>, co stanowi ponad 31% powierzchni kontynentów (Sokołowski 1997). Szacuje się, że możliwe do bezpośredniego wykorzystania zasoby energii geotermalnej, zawartej w przegrzanej parze wodnej i w wodach geotermalnych, wynoszą około  $3 \times 10^9$  PJ, co jest ilością energii równoważną  $10^4$  ilości energii pierwotnej zużywanej w świecie w ciągu roku (Fridleifsson 1996).

2. Energia geotermalna odgrywa obecnie ważną rolę jako energia odnawialna tylko na obszarach, na których głębokość występowania wód geotermalnych jest mniejsza od 2 km, a w żadnym wypadku nie powinna przekraczać 3 km. Odpowiada to ekonomicznej głębokości zalegania źródeł roponośnych, przy poszukiwaniu których odkrywa się źródła geotermalne.

3. Energia geotermalna, występująca w postaci przegrzanej pary wodnej lub wód geotermalnych o temperaturze powyżej 130°C, może być wykorzystywana do produkcji energii elektrycznej. Natomiast wody geotermalne o temperaturach niższych, tj. w granicach 10°—130°C, mogą być wykorzystywane w sposób bezpośredni lub pośredni w wymiennikach ciepła do ogrzewania budynków mieszkalnych, użyteczności publicznej oraz do celów grzewczych i technologicznych w zakładach przemysłowych. Innym sposobem wykorzystania wód geotermalnych niskotempe-

raturowych jest ogrzewanie szklarni, podgrzewanie wody w basenach kąpielowych, stosowanie w celach balneologicznych w sanatoriach i uzdrowiskach, w hodowli ryb na skalę przemysłową oraz do podgrzewania chodników, parkingów i miejsc postojowych dla samochodów w okresie zimy (np. Islandia).

4. Zainstalowana moc cieplna w oparciu o energię geotermalną w 40 krajach świata wynosi około 10 000 MW<sub>t</sub>, a produkcja energii w ciągu roku około 37 TW·h. W 14 krajach zainstalowana moc przekracza 100 MW<sub>t</sub>. Energia geotermalna wykorzystywana jest w sposób bezpośredni do ogrzewania budynków (33%), w basenach kąpielowych i wodolecznictwie (19%), w szklarniach (14%), w pompach ciepła (12%), w hodowli ryb i zwierząt (11%) oraz w przemyśle (10%).

5. Całkowita zainstalowana moc elektryczna w elektrowniach geotermalnych na świecie wynosiła 5867 MW<sub>e</sub> w 1990 roku, 6796 MW<sub>e</sub> w 1995 roku i 8240 MW<sub>e</sub> w 1998 roku. Zakłada się, że w roku 2000 całkowita moc elektryczna w elektrowniach geotermalnych może wzrosnąć do 10 000 MW<sub>e</sub>. Roczna produkcja energii elektrycznej we wszystkich elektrowniach geotermalnych na świecie wynosiła 38 TW·h.

6. W przypadku niskotemperaturowych źródeł geotermalnych ( $t = 10^{\circ} - 40^{\circ}\text{C}$ ) możliwe jest wykorzystanie energii tych wód w pompach grzewczych, które nie powinny być jednak instalowane w przypadkach, gdy wody geotermalne nadają się do bezpośredniego wykorzystania, ponieważ znacznie wzrastają koszty inwestycyjne i eksploatacyjne. Przykładem wykorzystania źródeł niskotemperaturowych przy udziale pomp grzewczych w Polsce jest ciepłownia geotermalna w Pyrzycach, gdzie zainstalowano dwie absorpcyjne pompy ciepła produkcji japońskiej o łącznej mocy cieplnej 18 MW<sub>t</sub>.

7. W warunkach polskich najbardziej atrakcyjne jest wykorzystanie wód geotermalnych na obszarze niecki podhalańskiej, w okręgu grudziądzko-warszawskim i szczecińsko-łódzkim (Szargut 1990). Konkretnie przykłady wykorzystania energii geotermalnej w Polsce to Zakład Geotermalny na Podhalu, który po 2000 roku będzie zaopatrywał w ciepło takie miejscowości jak Bańska, Biały Dunajec, Nowy Targ, Poronin i Zakopane oraz ciepłownia geotermalna o mocy 50 MW<sub>t</sub> w Pyrzycach koło Szczecina, która została oddana do użytku w 1995 roku i docelowo będzie zaopatrywała w ciepło 16-tysięczne miasto. W fazie projektowej lub realizacji znajdują się także ciepłownie w Mszczonowie, Skierniewicach i Żyrardowie.

Artykuł powstał na podstawie referatu wygłoszonego na Międzynarodowym Seminarium nt.: Rola energii geotermalnej w zrównoważonym rozwoju regionów mazowieckiego i łódzkiego, 2000.

## Literatura

- DŁUGOSZ P., 1997 — Projekt Geotermalny Podhale — stan obecny i perspektywy rozwoju. Mat. Seminarium z cyklu „Energia odnawialna krok w kierunku ekologii” na temat: Efekty ekologiczne, energetyczne i ekonomiczne wykorzystania energii odnawialnej, Kraków, 19—20 czerwca 1997. Wydawnictwo CPPGSMiE PAN, Kraków, s. 127—139.
- FREESTON D.H., 1996 — Direct uses of geothermal energy 1995, Geo-Heat Center Quarterly Bulletin vol. 17, no. 1.

- FRIDLEIFSSON I.B., 1993 — The role of geothermal energy in environmental protection. International Seminar on Environmental Protection by the Use of Geothermal Energy, Zakopane, Poland, 13—16 September 1993.
- FRIDLEIFSSON I.B., 1996 — The role of geothermal energy in the world. Geo-Heat Center Quartely Bulletin vol. 17, no. 3.
- International Geothermal Association: Geothermal power plants on-line in 1998.
- LUND J.W., 1996 — Direct heat utilization of geothermal resources. Geo-Heat Center Quartely Bulletin vol. 17, no. 3.
- Polish Geothermal Association and Polish Academy of Sciences: Geothermal provinces and basins in Poland. Prepared by J. Sokołowski and others, Kraków 1995.
- Praca zbiorowa pod redakcją I. Solińskiego. Prognozy kosztów oraz konkurencyjność odnawialnych i nieodnawialnych nośników energii w Polsce. PAN CPPGSMiE. Studia i Rozprawy 34, Kraków 1994.
- Proceedings of the World Geothermal Congress, vol. 1,3, Florence, Italy, May 1995.
- SOKOŁOWSKI J., 1997 — Prognozy rozwoju geoenergetyki w świecie, Europie i Polsce. Rynek Instalacyjny nr 12, s. 7—12.
- SZARGUT J., 1990 — Zasoby energii geotermalnej w Polsce. Gospodarka Paliwami i Energią nr 7, s. 4—7.
- WICHOWSKI R., 1998 — Możliwości wykorzystania energii geotermalnej na przykładzie Islandii. Informacja INSTAL nr 1.

## Streszczenie

Możliwe do pozyskania światowe zasoby energii geotermalnej szacuje się na około  $3 \times 10^9$  PJ, co jest równoważne 10 000-krotnemu zużyciu wszystkich nośników energii pierwotnej w w ciągu roku we wszystkich krajach świata. Energia geotermalna, zaliczana do odnawialnych źródeł energii, może mieć znaczący udział w globalnym zmniejszeniu emisji gazów cieplarnianych, które powstają przy spalaniu paliw kopalnych. W referacie przedstawiono wykorzystanie energii geotermalnej w różnych krajach świata. Wykorzystanie to zostało podzielone na dwie grupy: tzw. bezpośrednie wykorzystanie i produkcję energii elektrycznej w oparciu o geotermię. Bezpośrednie wykorzystanie energii geotermalnej w świecie wynosi około 38 TW·h w ciągu roku przy zainstalowanej mocy cieplnej w wysokości około 10 000 MW<sub>t</sub> w około 46 krajach świata. Na ogrzewanie budynków wykorzystuje się około 34%, podgrzewanie wody w basenach kąpielowych stanowi około 14%, szklarnie — około 14%, pompy ciepła stosowane zarówno do ogrzewania, jak i chłodzenia — 13%, hodowla ryb i zwierząt — około 9%, w przemyśle do celów grzewczych i technologicznych — około 9% oraz inne cele — 7%. Produkcja energii elektrycznej wynosi około 44 TW·h/rok przy zainstalowanej mocy elektrycznej około 8240 MW<sub>e</sub> w 1998 roku. Energię elektryczną produkuje się w oparciu o geotermię zarówno w krajach rozwiniętych, jak i rozwijających się. Udział poszczególnych krajów w bezpośrednim wykorzystaniu energii geotermalnej jest różny i z wyjątkiem Chin, największe wykorzystanie tej energii ma miejsce w krajach rozwiniętych oraz w krajach Europy Środkowej i Wschodniej. W artykule przedstawiono wykorzystanie energii geotermalnej w wybranych krajach europejskich, takich jak: Bułgaria, Francja, Islandia, Polska, Rosja, Słowacja, Rumunia, Węgry i Włochy. Przedstawiono także krótki przegląd wydatków na badania i inwestycje związane z wykorzystaniem energii geotermalnej w różnych krajach świata w latach 1973—1992. W całym okresie 1973—1992 wydano na badania i inwestycje około 22 mld USD, z czego 7,6 mld USD wydano w okresie 1973—1982, a 14,3 mld USD w okresie 1983—1992, co oznacza wzrost wydatków na inwestycje związane z wykorzystaniem energii geotermalnej w drugim okresie o 88%.



Roman WICHOWSKI

## **Selected problems utilization of geothermal energy in the world and in European countries**

KEY WORDS: geothermal energy, utilization of geothermal energy

### **Summary**

The recoverable geothermal energy has been estimated at about  $3 \times 10^9$  PJ, which is about  $10^4$  times the present annual world consumption of primary energy. Geothermal energy, with its proven technology and abundant resources, can make a very significant contribution towards reducing the emission of greenhouse gases worldwide. The paper presents utilization of geothermal energy in the world. This utilization is divided into two categories: electricity production and so called direct application. The world direct-use energy production is about 38 TW·h/a, with installed capacity of 10000 MW<sub>e</sub> in nearly forty six countries in the world. The main uses are space heating (34%), bathing (14%), greenhouses (14%), heat pumps for heating and cooling (13%), aquaculture (9%), industry (9%) and other — 7%. The electricity generated in these countries is about 44 TW·h a with installed power of 8240 MW<sub>e</sub> in 1998. Geothermal electricity generation is equally common in industrialized and developing countries, but the world distribution of direct utilization is different, since with the exception of China, the direct utilization is a serious business mainly in the industrialized, and Central and Eastern European countries. The paper presents utilization of geothermal energy in some selected European countries, as Bulgaria, France, Iceland, Poland, Russia, Slovakia, Romania, Hungary and Italy. A quick survey of investment data from all the main geothermal countries in the world for the period 1973—1992 is also presented. The survey covers all geothermal research and development, and investments that allow the geothermal energy to be used. The survey indicates that total investments in geothermal during 1973—1992 to be about 22 mld USD. Of this, 7.6 mld USD were invested during 1973—1982 and 14.3 mld USD during 1983—1992, which indicates an increase in total investments in the second period of about 88%.