

Wybrane aspekty energii geotermalnej w Polsce

Stanisław Ostaficzuk*

Rzeczywista gospodarcza i ekologiczna wartość energii geotermalnej jest w wielu kręgach w Polsce ciągle niedoceniana. Geotermia jest raczej postrzegana jako sensacja lub kosztowna ciekawostka (ryc. 1), niż alternatywa energetyczna kraju. Niesłuszne zwłaszcza jest traktowanie geotermii, jako konkurencji dla tradycyjnych źródeł energii — węgla oraz ropy i gazu. W krajach o dużym potencjale konwencjonalnych źródeł energii, właśnie energetycy — związani z górnictwem naftowym i węglowym — zajmują się także pracami nad metodyką i technologią instalacji geotermalnych. Energia geotermalna jest bowiem zawsze wykorzystywana wraz z energią elektryczną, gazem lub pochodnymi ropy naftowej, niezbędnymi do napędu pomp i do współpracy w okresach szczytowego zapotrzebowania na energię cieplną, gdy temperatury na zewnątrz obiektów spadają znacznie poniżej zera.

Wydaje się więc konieczne popularyzowanie wiedzy o geotermii we wszystkich środowiskach, także i wśród fachowców — geologów, energetyków, górników i ekologów, których wiedza na ten temat — mimo dostępnej literatury faktograficznej, por. (Sokołowski i in., 1995) — może być nie najlepiej ukształtowana przez wyrwykowe informacje czy przypadkowe opinie. W tej sytuacji Polska Asocjacja Geotermalna patronuje i zachęca do propagowania wiedzy o energii geotermalnej — bez przejawiania jej walorów, ale jednak z uwypuklaniem korzyści z rozwijania badań podstawowych i wdrażania dotychczasowych osiągnięć.

Na ostatnim Kongresie Geotermalnym we Florencji, w maju 1995 r. przedstawiono niemal kompletne spektrum działalności i osiągnięć geotermii na świecie (Barbier i in., 1995). Z przeglądu opublikowanych materiałów wynika, że dotychczasowe wykorzystanie energii geotermalnej** jest jeszcze dalekie od możliwości, a równocześnie właśnie kraje bogate, którym nie brak konwencjonalnych źródeł energii mają w zakresie geotermii największe osiągnięcia.

O gospodarczym znaczeniu tej energii świadczyć może obecność na kongresie we Florencji pani minister ds. energetyki z USA, która — w półgodzinnym przemówieniu zamykającym obrady — z naciskiem podkreślała progeotermalne działania reprezentowanego przez nią rządu.

Ciepło Ziemi jest wykorzystywane na świecie do wytwarzania energii elektrycznej oraz w ciepłownictwie i chłodnictwie. Pośrednim jego źródłem są głębokie poziomy wód podziemnych,

*Polska Asocjacja Geotermalna, ul. Wybickiego 7, 31-261 Kraków

**Pod pojęciem energii geotermalnej rozumiana tu jest zarówno energia cieplna pochodząca z głębi ziemi, jak i energia cieplna magazynowana w gruntach i płytkich wodach gruntowych. Nośnikami ciepła w górnych partiach skorupy ziemskiej są skały suche, skały zawadnione oraz magma (ryc. 1), a transport ciepła do odbiorników na powierzchni może odbywać się za pośrednictwem przegrzanej pary wodnej, wody lub innych płynów.

ale możliwe też jest wykorzystywanie ciepła innych sfer. W skrajnym przypadku są wykorzystywane kilkustopniowe różnice temperatur w granicach 0°C do permanentnej stabilizacji podpór transalaskańskich rurociągów naftowych przez ich samoczynne wzmrażanie w grunty soliflukcyjne.

Rurociągi naftowe w tundrze na Alasce są prowadzone nad powierzchnią ziemi na podporach. Unika się w ten sposób awarii w związku z małą stabilnością gruntów zmarzlinowych i letnią soliflukcją na terenach nachylonych, jak i w ogóle nie narusza się struktury gruntów, co występowałoby w przypadku wykonania głębokiego wkopu na całej trasie dla położenia w nim rurociągu. Podpory — w postaci pionowych konstrukcji rurowych — zawierają wewnątrz instalację wymiennikową ciepła, podobną w działaniu do domowych lodówek absorpcyjnych, z tym że element chłodzący znajduje się w dolnej części podpory wpuszczonej w wieczną zmarzlinę, a radiator ciepła pochłanianego z gruntu znajduje się w części górnej, napowietrznej. Konwekcję płynu chłodzącego wywołuje jedynie różnica temperatur między gruntem, a powietrzem (bez zasilania), przy czym konwekcja i chłodzenie dolnej części występują zarówno wtedy gdy temperatura powietrza jest wyższa, jak i gdy jest niższa niż temperatura gruntu. Zapewnia to stałe utrzymanie zamrożonego bloku gruntu wokół fundamentu podpory.

Drugim skrajnym przypadkiem jest bezpośrednie wykorzystywanie przegrzanej pary wodnej do napędu turbin agregatów prądotwórczych. Bezpośrednie wykorzystywanie energii geotermalnej jednak nie zawsze bywa ekologicznie czyste. Z parą na powierzchnię wydostają się różne substancje chemiczne, które mogą szkodliwie oddziaływać na środowisko (np. związki siarki powszechne w sulfatach). Powoduje to konieczność instalowania kosztownych urządzeń oczyszczających przed wypuszczeniem zużytej pary do atmosfery lub w skroplonej postaci do lokalnych ścieków.

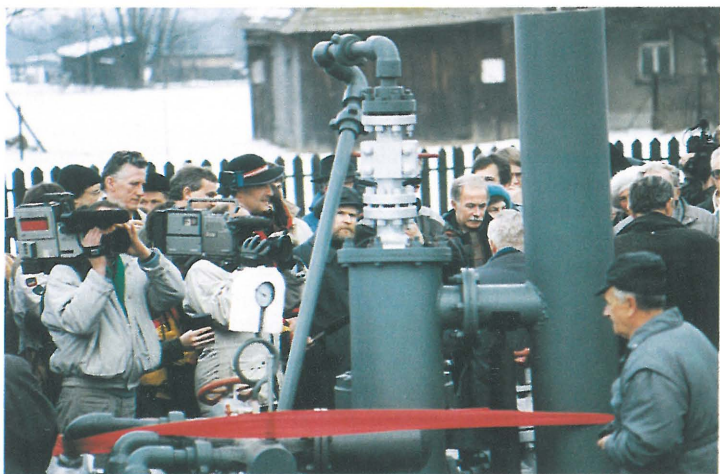
Elektrownie, w których wykorzystywana jest energia geotermalna pracują m.in. w następujących państwach (w MWe, w nawiasach populacja w milionach mieszkańców): Chiny 28,8 (1151), Filipiny 1221 (66), Islandia 49,4 (0,3), Indonezja 310 (195), Japonia 414 (124), Kostaryka 55 (3), Meksyk 753 (90), Nowa Zelandia 286 (3,3), Nikaragua 35 (3,8), Salwador 105 (5,5), Turcja 20,6 (59), USA 2217 (253),



Ryc. 1. Użyteczne środowiska geotermalne (Duffield i in., 1994)



Ryc. 2. Elektrownia geotermalna w okolicach Larderello we Włoszech; wykorzystywana jest tam tylko energia wysokotemperaturowa, ciepło odpadowe ulatnia się w powietrze



Ryc. 3. Przy pierwszej w Polsce instalacji geotermalnej w Bańskiej, o różnorodnym przeznaczeniu (ogrzewanie domów, wody użytkowej, suszarni drewna, szklarni i basenów wodnych) zawsze gromadziły się duże grupy zainteresowanych z całej Polski. Mimo to, w wielu wypowiedziach publicznych zarówno pierwszeństwo, jak i nawet geologiczna realność tego obiektu są negowane

Włochy (ryc. 2) 632 (58), por. (Hutter, 1995). Z powyższego zestawienia wynika, że energię elektryczną przy wykorzystaniu ciepła Ziemi wytwarzają głównie państwa, w których jest młody wulkanizm.

Zależnie od pierwotnej temperatury źródła energii geotermalnej, stosuje się różne techniki i technologie przejmowania ciepła do dalszego wykorzystania (ryc. 3), a równocześnie wprowadzane są różne rozwiązania we wspomaganie ciepłowni geotermalnych przez inne źródła ciepła, głównie odpadowego. Należy dodać, że dotychczas nie prowadzi się w Polsce prób zastosowania energii geotermalnej w chłodnictwie, które w wielu krajach — znajdujących się w umiarkowanych strefach klimatycznych — pochłania jej okresowo więcej niż ogrzewanie (Kavanaugh, 1992).

Interesującym rozwiązaniem jest łączenie różnych proekologicznych inwestycji w jeden efektywny system. Na przykład, w Szwecji są łączone profesjonalne spalarnie śmieci właśnie z zakładami geotermalnymi. Zarówno gazy jak i lotne oraz stałe produkty spalania są neutralizowane za pomocą nowoczesnych technologii (kataliza, emulgacja i chemiczne strącanie oraz grawitacyjna separacja), brykietowane i bezpiecznie składowane pod kontrolą tamtejszego

Instytutu Geologicznego (Johansson, 1995), ciepło spalania i ciepło oczyszczanych gazów są wykorzystywane do wspomaganie geotermalnego systemu grzewczego, pracującego przy wykorzystaniu PC.

Ze względu na utrudniony dostęp i dużą głębokość wysokotemperaturowych źródeł energii geotermalnej w Polsce, w prezentowanym tekście omawiane są bliżej tylko możliwości wykorzystania tej energii do ogrzewania wnętrz i podgrzewania wody użytkowej.

Polska jest krajem słabo uprzywilejowanym pod względem intensywności przepływu ciepła i występowania wysokotemperaturowych (>100°C na dostępnych głębokościach) nagromadzeń ciepła w wodach lub skałach (Karwasiecka, 1980; Plewa & Plewa, 1990). Gęstość strumienia ciepłego Ziemi w Polsce na podstawie 86 oznaczeń (Plewa, 1994) wynosi od ok. 20 do ok. 90 mW/m², podczas gdy np. w Bułgarii do 400 mW/m², a w większości krajów europejskich przekracza znacznie 100 mW/m² (*Geothermal atlas of Europe*, 1992). Temperatury Ziemi na głęb. 1000 m wahają się w Polsce przedziale od 20 do 40°C. Temperatury wód (Sokołowski i in., 1995), często silnie zasolonych wahają się w granicach od ok. 30 do ponad 60°C na poziomie –1000 m, i od ok. 45 do ponad 80°C na poziomie –2000 m, na obszarze platformy zachodnio-europejskiej oraz ok. 20°C na poziomie –1000 m na obszarze kratonu wschodnioeuropejskiego. Natomiast na głębokościach nawet nieznacznie przekraczających 3500 m temperatury wód geotermalnych bywają wyższe niż 100°C, osiągając 120, a nawet 135°C.

Za pomocą odrębnych instalacji ciepłych można zasilać zarówno całe miasta lub dzielnice, albo też pojedyncze obiekty, jak np. hotele, szklarnie, domki jednorodzinne. Instalacje u odbiorców ciepła w zasadzie nie muszą się różnić od tych, które są stosowane dotychczas w centralnym ogrzewaniu.

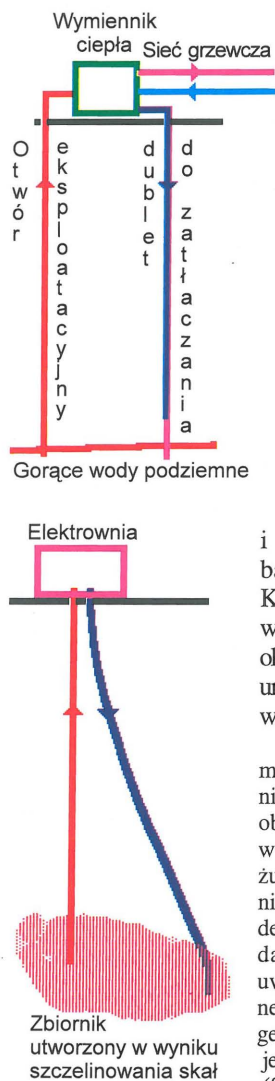
Niestety, instalacje centralnego ogrzewania w Polsce w większości przypadków reprezentują zdecydowanie kopalny stan technologii, od rozwiązań technicznych poprzez materiały, do wykonawstwa i instalacji włącznie. W tym sensie, wprowadzenie ogrzewania geotermalnego może z konieczności wiązać się z wymianą dotychczasowych instalacji domowych. Albo, kwiatek będzie przypinany do kożucha.

Ogrzewanie wnętrz przy zastosowaniu pomp ciepła odbywa się głównie poprzez nadmuch kanałami powietrznymi lub za pomocą podpodłogowych węzłowic z cieczą.

Obszerny przegląd problematyki geotermalnej i jej historii w Polsce znajduje się w opracowaniu Sokołowskiego i in. (1995). Problematyką tą zajmowano się już od dawna przede wszystkim w związku z rozwojem balneologii (Bojarska & Bojarski, 1968; Bojarski, 1966; Dowgiałło, 1972). Praktyczne badania i eksperymenty nad zastosowaniem energii geotermalnej do celów grzewczych natomiast zostały zapoczątkowane i prowadzone przez J. Sokołowskiego w krakowskim centrum PAN, kierowanym przez R. Neya z AGH. Obecnie problemami utylizacji geotermii głębokootworowej zajmuje się kilka ośrodków w kraju.

Wody geotermalne

Zasoby wód geotermalnych w Polsce, warunki ich występowania oraz wykorzystania były określane w wielu syn-



Ryc. 5. Sztuczny zbiornik wodny utworzony w gorących skałach krystalicznych metodą szczelinowania masywu wokół otworów wiertniczych

Koszt dwóch otworów wiertniczych w Polsce stanowi od kilkunastu do kilkudziesięciu procent kosztów całości dużej inwestycji grzewczej, opartej na wykorzystaniu ciepła wód geotermalnych.

Z powodu zaostrzających się wymagań ekologicznych i przepisów prawa geologicznego, w praktyce możliwy jest jedynie dwuotworowy system eksploatacji ciepła wód głębokich, z całkowitym zatłaczaniem powrotnym wody schłodzonej. Rafferty (1995) określił, że przy dwuotworowym systemie eksploatacji wód geotermalnych koszty jednostkowe wzrastają o kilkanaście procent, w przypadku budynków dużych i kilkadziesiąt w przypadku budynków

Ryc. 4. Dwuotworowy system eksploatacji wód geotermalnych

tetycznych opracowaniach (Bojarski i in., 1979; Górecki, 1990; Sokołowski, 1988; Sokołowski i in., 1995). Użytkowanie ciepła wód w głębokich jest związane z koniecznością wykonywania głębokich odwiertów udostępniających*.

Potencjał energetyczny wód geotermalnych w Polsce został zbilansowany w skali regionalnej na podstawie analizy danych z głębokich otworów wiertniczych, a bardziej szczegółowo w kilku obszarach na Niżu (Pyrzyce, Piła, Skierniewice, Żyrardów) i na Podhalu, w ramach projektów badawczych finansowanych przez KBN i NFOŚiGW. Łącznie zasoby wydobywalne zostały ostrożnie określone na przeszło 34 mld t paliwa umownego (Ney, 1992; Ney & Sokołowski, 1987; Sokołowski, 1995).

Bilans energetyczny wód geotermalnych w Polsce uzyskano uwzględniając arbitralnie następujące elementy: objętość wody zawartą w porach skał wodonośnych, temperaturę wody w złożu, temperaturę wody w głowicy otworu niższą o 10°C od temperatury złoża, spadek temperatury wody do 20°C po oddaniu ciepła w wymiennikach. Nie uwzględniono natomiast energii cieplnej skał, w których zawarta jest ta woda geotermalna. Podana wartość 34 mld t.p.u. jest więc teoretycznie zaniżona, por. też (Sokołowska, 1995).

Wiercenie głębokich otworów (ok. 1,5 do 3 km) na potrzeby geotermii wpływa istotnie na koszt całego przedsięwzięcia. Dlatego ujęcia otworowe wód geotermalnych stają się bardziej opłacalne przy dużych inwestycjach.

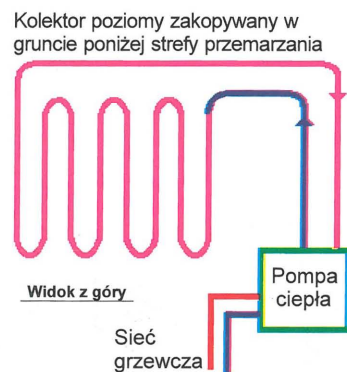
małych, w stosunku do kosztów instalacji jednootworowej. Do pozyskiwania ciepła z wód czerpanych z głębokich otworów może być zastosowany kilkustopniowy układ wymienników do zasilania instalacji kolejno centralnego ogrzewania wewnątrz i wody użytkowej, szklarni, basenów kąpielowych, stawów rybnych, czy nawet podgrzewania nawierzchni jezdni (Thurston i in., 1995).

Ciepło maszywów skalnych

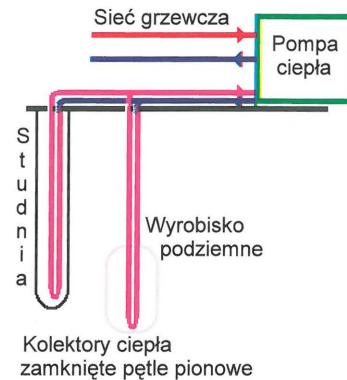
Gorące, spękane masywy skalne występują na ekonomicznych głębokościach w Sudetach (Ney & Sokołowski, 1987). Są to masywy krystaliczne o temperaturach kilkudziesięciu stopni (do 100°C w rejonie anomalii termicznej k. Dusznik; Dowgiałło, 1972, 1987). Rozpoznanie wiertnicze ciepła tych maszywów w Polsce jest dotychczas niewielkie, ale są prowadzone wstępne studia sponsorowane przez KBN. Zasoby nie zostały tam określone; do ich wykorzystania będą konieczne specjalistyczne instalacje i zabiegi wewnątrz otworu, w celu transferu ciepła do wymienników na powierzchni (por. też Schuster & Bloomquist, 1994; Shulman & Whitelaw, 1995).

W celu wykorzystania energii cieplnej gorących maszywów skalnych konieczne jest utworzenie sztucznego zbiornika wód za pomocą szczelinowania i wierceń kierunkowych w głębi górotworu (ryc. 5). Takie rozwiązania są stosowane szczególnie w celu uzyskania przegrzanej pary wodnej do napędu turbin w elektrowniach na terenach o dużych dodatnich anomalii geotermalnych.

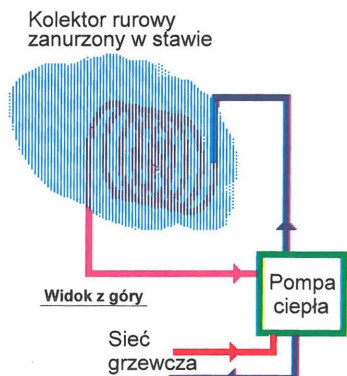
Ciepło maszywów skalnych w płytkich strefach podpowierzchniowych (por. Bjelm & Lindeberg, 1995; Chmura, 1987; Kowalcuk & Pałys, 1967; Lienau, 1995; Rybach & Hopkirk, 1995; Rybach & Wilhelm, 1995; Sanner, 1995), jest dostępne w Polsce na obszarach górniczych, w wyrobiskach w skałach płonnych formacji węglonośnych Dolnego i Górnego Śląska oraz na Lubelszczyźnie, a także w innych podziemnych wyrobiskach kopalnianych w pasie wyżyn Polski Południowej i na Niżu. Użyteczne temperatury są ok. 20°C. Zasoby i możliwa skala



Ryc. 6. Poziomy gruntowy kolektor ciepła



Ryc. 7. Pionowe studzienne, otworowe lub kopalniane kolektory ciepła



Ryc. 8. Spiralny wodny kolektor ciepła

*Wody geotermalne to wody głębokie, o temperaturze wyższej od średniej rocznej temperatury powietrza przy powierzchni ziemi na danym obszarze; umownie przyjmuje się temperaturę wody 20°C jako geotermalną. Zwykle wody te są zmineralizowane od 0,1 do 300 g/dcm³, co powoduje konieczność ich zatłaczania przez odrębny otwór wiertniczy do pierwotnego złoża, po odciążeniu z nich ciepła użytkowego (ryc. 4).

eksploatacji są praktycznie nieograniczone, konieczne jest jednak rozpoznanie — dokonywane każdorazowo — w ramach standardowej ekspertyzy, ukierunkowanej na przeciwwskazania geologiczne.

Według *US Dept. of Energy*, zasoby ciepła zawarte w przypowierzchniowych strefach Ziemi są praktycznie nieograniczone, ich wydobywanie wymaga zastosowania pomp ciepła napędzanych energią elektryczną (Lienau i in., 1995). W Polsce wpływ rocznych wahań temperatury powietrza sięga do głęb. 8–27 m, gdzie panują stałe temperatury od 6 do 9°C, związane z dopływem ciepła z głębi Ziemi (Plewa, 1994). Efektywność tego niskotemperaturowego źródła ciepła zwiększa się zasadniczo, gdy jest ono wykorzystywane zarówno do ogrzewania, jak i do chłodzenia (klimatyzacji) (Kavanaugh, 1992; Sanner, 1995). Powszechnie przyjmuje się, że oszczędności kosztów energii



Ryc. 9. Każde ograniczenie emisji spalin w energetyce będzie korzystne



Ryc. 10. Tę dyskretnie usytuowaną kotłownię uzdrowiska karpaciego, jak i wiele podobnych, można i należałoby zastąpić ujęciem ciepła geotermalnego

służącej do ogrzewania wnętrz zimą, przy wykorzystaniu ciepła gruntów są ok. 50%, a do chłodzenia, latem — ok. 25%, nie licząc oszczędności środowiska.

Na obszarach objętych górnicyą eksploatacją podziemną jest możliwe wykorzystywanie ciepła zarówno skał, jak i wód kopalnianych oraz powietrza wentylacyjnego. Inicjalne temperatury w tym wypadku osiągają w Polsce 30–40°C. Szczególna możliwość zagospodarowania ciepła Ziemi istnieje w kopalniach likwidowanych, gdzie możnaby zawczasu instalować kolektory ciepła w postaci zamkniętych pętli rurowych w wyizolowanych (dla uniknięcia konwekcyjnego schładzania wód kopalnianych) komorach i dostarczać ciepło do nadległych osiedli, a w lecie korzystać z zasobów schłodzonej wody gromadzonej zimą w oddzielnych komorach. Innym źródłem geotermalnym, o umiarkowanej wydajności ciepła, uzyskiwanego za pomocą kolektorów w kształcie pionowych pętli rurowych, o zamkniętym obiegu mogą być opuszczone wiertnicze otwory badawcze.

Pompy ciepła (PC) z kompresorami napędzanymi elektrycznie (Wright & Colvin, 1993) podnoszą do wymaganej wysokości (np. 45°C) temperaturę płynu w domowym obiegu grzewczym. W buforującym zbiorniku wodnym znajduje się dodatkowa grzałka elektryczna na wypadek ostrej zimy. Instalacje z pompami ciepła są powszechne w Szwajcarii (ponad 6000 obiektów w 1993 r. (Rybach, Hopkirk, 1995), w USA (wg opinii Pratcha z *U.S. Dept. of Energy* jeszcze przed rokiem 2000 roczna sprzedaż geotermalnych PC osiągnie pół miliona), liczne są w Kanadzie i w Skandynawii. Z reguły są one łączone także z urządzeniami chłodzącymi, m.in. klimatyzacyjnymi, ze względu na wspomnianą możliwość gromadzenia w ziemi zarówno zapasu ciepła uzyskanego przy schładzaniu obiektów, jak i chłodu uzyskiwanego w czasie grzania (Sanner, 1995).

Masywy skalne i grunty w strefach przypowierzchniowych poniżej poziomu przemarzania na terenie całej Polski są również potencjalnym źródłem ciepła. Najbardziej korzystne, ze względu na dostępność oraz przewodność i pojemność cieplną, są silnie wilgotne piaski, mułki oraz zwierzeliny ilaste (gliny), zarówno czwartorzędowe jak i starsze, o temperaturach powyżej 2°C. Dotychczas w literaturze naukowej brak jest analizy pracujących instalacji, wykorzystujących ciepło przypowierzchniowych stref gruntów i wód powierzchniowych w Polsce. Ze względu na powszechność i praktyczną nieograniczoną tych zasobów, na całym obszarze kraju możnaby było instalować małe indywidualne lub grupowe kolektory ciepła do zasilania pojedynczych obiektów — domów mieszkalnych (Lemalle, 1995), pensjonatów, gospodarstw wiejskich.

Stosowane są następujące rozwiązania przy użyciu kolektorów ciepła wypełnionych niemarzącym płynem wymiennikowym, np. mieszaniną wody i glikolu:

1. Poziome cewki lub spirale, albo wiele pionowych U-kształtnych pętli instalowanych w gruncie poniżej poziomu przemarzania (ryc. 6);

2. U-kształtne kolektory instalowane w głębokich studniach lub specjalnie wykonanych otworach wiertniczych; mogą być też instalowane w różnych wyrobiskach kopalnianych (ryc. 7);

3. Spirale umieszczane w stawach (ryc. 8).

Podsumowanie

Z powyższego omówienia wynika, że energię geotermalną można wykorzystywać także bez dużych inwestycji. Wprowadzenie do powszechnego stosowania nowoczesnych pomp ciepła (PC) w grzejnictwie, a także i w chłodnictwie —

klimatyzacji, może zasadniczo zmienić długoterminowe trendy w budownictwie, planowaniu przestrzennym i w strategii energetycznej kraju. Zalety ogrzewania przy wykorzystaniu pomp ciepła są różnorodne i niekwestionowane (Bjelm & Lindberg, 1995; Hutter, 1995; Pratsch, 1992; US Dept. of Energy, 1995).

Zalety geotermalnych PC są według (Wright & Colvin, 1993) następujące:

- zmniejszenie zużycia energii elektrycznej o 30 do 50% (ryc. 9);
- spełnianie rygorystyczne wymagań dotyczących skażeń powietrza, gleby i wody;
- długa żywotność — szacowana na 20 do 30 lat, ze względu na prostotę działania i obsługi;
- zmniejszenie ogólnych kosztów wieloletnich ogrzewania i chłodzenia o 60 do 70% w stosunku do kosztów eksploatacji grzewczych systemów tradycyjnych;
- redukcja kosztów ciepłej wody w sezonie letnim niemal do zera i do 1/3 w przypadku sezonu zimnego;
- odporność instalacji zewnętrznych na korozję.

Dotychczasowy brak dostatecznego zainteresowania instalacjami geotermalnymi i PC wynika z następujących powodów:

- brak ogólnej informacji i popularyzacji,
- brak geologicznej waloryzacji geotermalnej terenów,
- dezinformacja i łączenie problematyki ciepła geotermalnego wyłącznie z koniecznością wykonywania głębokich i bardzo kosztownych otworów wiertniczych,
- brak powszechnej podaży urządzeń, ze względu na ich małą opłacalność handlową (stosunkowo niski koszt urządzeń — małe zużycie materiałów, długi żywot elementów, ich prostota),
- brak licencjonowanych wykonawców prac ziemnych i instalatorów, co powoduje obawy potencjalnych użytkowników przed brakiem opieki gwarancyjnej i pogwarancyjnej oraz w ogóle brakiem efektywności systemu w warunkach ekstremalnych,
- brak promocji i zachęty ze strony instytucji proekologicznych,
- oraz brak zachęty podatkowej — i wreszcie
- brak stosownych uregulowań prawnych.

Należy jednak mieć nadzieję, że regulacje legislacyjne w Polsce, które będą wprowadzone wraz z rozpowszechnianiem się technik poboru ciepła z ziemi do celów grzewczych, nie będą głównie ukierunkowane na płatne licencjonowanie prawa tego poboru i podatki za pobrane ciepło oraz nie będzie wprowadzony podatek od luksusu niekorzystania z dotychczasowych miejskich sieci ciepłowniczych. Infrastruktura może się szybko zmaterializować, pod warunkiem stosownych ułatwień celnych i finansowych.

Systemy grzewcze oparte na PC mogą się wydać drogie w obecnych warunkach technologicznych, przy niskim standardzie tradycyjnych instalacji ciepłych. Jeśli jednak weźmie się pod uwagę koszty grzewczych instalacji tradycyjnych oraz opartych na PC, ale o porównywalnym standardzie technicznym, to korzyści z taniej eksploatacji PC będą oczywiste.

Koszty instalacji z PC wg Wright i Colvin (Wright & Colvin, 1993) kształtowały się ok. 1993 r. o 2000 do 4000 \$ US wyżej, niż koszty tradycyjnych instalacji. Natomiast porównawcze koszty instalacji grzewczych i chłodzących wg zestawienia Smilie *et al.* (in Wright & Colvin, 1993) w 1984 r. były następujące (w US \$):

System	Koszt urządzeń	Roczne koszty bieżące	Łączny koszt 10 lat eksploatacji
1 — Klimatyzator z elektr. grzejnikiem	2500	1740	19 903
2 — Klimatyzator z gazowym grzejnikiem	2900	1294	15 836
3 — Klimatyzator z powietrzną PC	3 300	1308	16 378
4 — Klimatyzator z wysoko sprawnym (95%) grzejnikiem gazowym	3500	1058	14 802
5 — PC wodno-ziemne	4730	969	12 840

Według najnowszych danych (*Executive summary*, 1995) cena pompy ciepła wraz z zainstalowanym kolektorem dla obiektu o powierzchni ogrzewanej 150 m² wynosiła od 1700 \$ do 4500 \$. Koszty kolektorów instalowanych w gruncie wynosiły średnio 742 \$ — pętle proste poziome, 904 \$ spiralne oraz 1028 \$ pionowe. Koszt instalowania pomp ciepła oraz przewodów powietrznych rozprowadzających ciepło po domu, jednak bez instalowania kolektorów ciepła wynosił od 4 800 \$ dla 60 m² powierzchni ogrzewanej, do 10 800 \$ przy 150 m² powierzchni (por. też Rafferty, 1995).

Wydaje się, że przy krajowych nie najwyższych standardach, ale wysokich kosztach instalacji grzewczej i cenach energii (ciepłej wody z elektrociepłowni, elektryczności lub gazu) grzejnictwo oparte na geotermii byłoby opłacalne w dłuższym przedziale czasu. Na przykład koszt grzewczej instalacji domowej od przyłącza do sieci (zawory, licznik, termoregulatory, przewody, kaloryfery) w domku jednorodzinym w Polsce wynosi od 5 000 do 25 000 zł, co przekracza koszty analogicznej instalacji w USA. A w praktyce i koszty eksploatacyjne, przy uwzględnieniu krótkiej żywotności rur i wymienników ciepła, oraz bieżące opłaty miesięczne są obecnie także bardzo wysokie. Więc mimo pozornie niskich cen energii elektrycznej i gazu czy wody z elektrociepłowni w Polsce, instalowanie pomp ciepła w gospodarstwach domowych w zabudowie rozproszonej byłoby ekonomicznie uzasadnione. Obecny koszt urządzeń zewnętrznych do pobierania ciepła z gruntu w Warszawie (kolektor rurowy, prace instalacyjne oraz pompa ciepła) do ogrzewania budynku o powierzchni 200 m² wynosi ok. 22 000 zł, a podobny zestaw do ogrzewania zespołu 6 budynków o powierzchni ok. 650 m² każdy, wynosi ok. 150 000 zł.

Szczególnie korzystne warunki do rozwoju geotermii są na terenach podmiejskich i rolniczych. Położone daleko od centralnych sieci ciepłowniczych gospodarstwa rolne i ogrodnicze mają potencjalnie znacznie większe zapotrzebowanie na niskotemperaturowe źródła energii niż ośrodki miejskie. Energia geotermalna może tam być wykorzystana zarówno do ogrzewania pomieszczeń, jak i szklarni, zasilania suszarni zboża, siana, warzyw, owoców i drewna, podgrzewania wody w stawach rybnych i pralniach itp. Możliwość suszenia owoców może być atrakcyjna w kraju o zaniedbanych tradycjach w tym względzie i częstych klęskach urodzaju.

Niewątpliwie zrozumienie zalet, a tym samym i zapotrzebowanie na omawiany rodzaj energii termalnej będzie wzrastać bardzo szybko wraz z postępem technologicznym, restrykcjami ochronnymi środowiska oraz wzrastającą potrzebą komfortu technicznego, którą geotermia łatwo może zaspokoić. Kolejną korzystną właściwością geotermii wspomaganą pompami ciepła jest możliwość zespolenia ciepła geotermalnego z różnymi rodzajami ciepła odpadowego.

Pojęcie komfortu technicznego może być odniesione w tym przypadku zarówno do technicznej elegancji i prostoty obsługi, możliwości pełnej automatyzacji ogrzewania i chłodzenia, jak i do możliwości znacznego rozszerzenia zastosowań energii cieplnej w codziennym życiu. Wprowa-

dzenie do powszechnego użytku uzbrojonych w plastikowe węzownice płyt chodnikowych i nawierzchni jezdnych umożliwi bezkonfliktową walkę ze śniegiem i roztopami na ulicach, mostach, parkingach i pochylniach podjazdowych dla wózków inwalidzkich. Znacznie zmniejszone zostaną skutki przechodzenia przez zero — wyeliminowanie zamrozów i niszczenia nawierzchni, jak i uniknięcie gołoledzi w newralgicznych punktach miast. Powszechne stosowanie klimatyzatorów we wszystkich pomieszczeniach, gdzie pracują komputery i ludzie, może nastąpić znacznie szybciej dzięki stosowaniu energii geotermalnej zarówno do ogrzewania, jak i do schładzania powietrza.

W Kanadzie wg badań konsumenckich (*Canada Market Research* — broszura informacyjna, 1992) 96% respondentów stosujących w swych domach pompy ciepła (PC) wyraziło satysfakcję z posiadanego systemu grzewczego i zadeklarowało na przyszłość chęć stosowania PC do ogrzewania i do schładzania pomieszczeń. Motywem były oszczędności (74%), możliwość grzania lub chłodzenia (34%), efektywność (28%), a tylko dla 15% motywem były, niekwestionowane przecież, względy ekologiczne (Wg *US Dept. Energy*, 1995).

Wnioski

Odnośnie możliwości powszechnego wykorzystywania energii cieplnej z głębokich poziomów wód, należałoby podjąć wyprzedzające prace metodyczne nad technologią wiercenia geologicznych otworów badawczych oraz poszukiwawczych i eksploatacyjnych w sposób umożliwiający ich późniejsze wykorzystanie do celów grzewczych.

Głównym problemem dotyczącym dostosowania niegeotermalnego otworu na potrzeby geotermii jest konieczność powiększenia jego średnicy i zmiany orurowania. Problem zatłaczania wykorzystanych wód geotermalnych w przypadku utylizacji pojedynczych otworów badawczych lub poszukiwawczych musiałby być rozwiązany np. przez wykonywanie otworów kierunkowych z niższej części istniejących otworów lub wykonanie drugiego otworu (dubletu) specjalnie w celu zatłaczania wód.

Wydajność energetyczna głębokich otworów wiertniczych może być wielokrotnie większa niż w przypadku instalacji wykorzystujących płytkie zasoby ciepła geotermalnego. Dlatego możliwe jest przesyłanie rurociągami ciepłej wody z głębokich ujęć do odbiorców odległych nawet o kilka kilometrów od otworu (Duffield i in., 1994). Wykorzystanie ciepła płytkich stref gruntowych za pomocą kolektorów zamkniętych i pomp ciepła, wydaje się szczególnie korzystne dla nowo budowanych rezydencji, hoteli i mniejszych ośrodków rekreacyjnych, których właściciele mogliby w ten sposób uniezależnić się od uciążliwych kotłowni (ryc. 10) lub od przemysłowych dostawców ciepła, a równocześnie wpływać korzystnie na stan środowiska.

W związku z powyższymi trendami i możliwościami wykorzystania czystych ekologicznie źródeł energii, jednostki badawczo-rozwojowe resortu geologii powinny rozważyć celowość podjęcia wyprzedzających badań i opracowań, jak np.:

1 — Metodyka wykorzystania istniejących otworów wiertniczych do transferu ciepła z głębi Ziemi do odbiorników na powierzchni;

2 — Zestawienie właściwości cieplnych (pojemność cieplna, przewodnictwo cieplne) typowych gruntów i skał w skali regionalnej;

3 — Zestawienie regionalnej mapy temperatur gruntów i wód podziemnych;

4 — Zestawienie mapy lokalnych anomalii przepływu ciepła.

L i t e r a t u r a

- BARBIER E., FRYE G., IGLESIAS E. & PALMASON G. (eds.) 1995 — Proc. World Geotherm. Congr. IGA, Florencja, 1–5.
- BJELM L. & LINDEBERG L. 1995 — Ibidem, 3: 2173–2176.
- BOJARSKA J. & BOJARSKIL. 1968 — Kwart. Geol., 12: 577–588.
- BOJARSKI L. 1966 — Prz. Geol., 14: 360–361.
- BOJARSKI L., PŁOCHNIEWSKI Z. & STACHOWIAK J. 1979 — Ibidem, 27: 624–628.
- CHMURA K., 1987 — PR MGIE, Polit. I. Gliwice, 119.
- DUFFIELD W.A., SASS J.H. & SOREY M.L. 1994 — Tapping the Earth's natural Heat; U.S.G.S. Washington, circular 1125: 1–63.
- DOWGIAŁO J. 1972 — Balneo. Pol., 17: 193–199.
- DOWGIAŁO J. 1987 — Prz. Geol., 35: 321–327.
- Executive summary: Ground source heat pump 1994 mailed survey results — 1995. NRECA Market Res. and the University of Alabama; Tennessee Valley Authority; 1–4.
- Geothermal atlas of Europe (red. E. Hurtig), 1992 — H.H. Haack Verlagsgesellschaft; Geographisch-Kartographische Anstalt Gotha.
- GÓRECKI W. 1990 — Atlas geotermalny Nizy Polskiego. ISE, AGH. Kraków.
- HUTTER G.W. 1995 — Proc. Geotherm. Congr., Florencja, 1: 3–14.
- JOHANSSON G. 1995 — Flue gas cleaning with condensation — Thisted; Gotawerken Miljo AB. Mat. inf. Goteborg.
- KARWASIECKA M. 1980 — Mapy geotermiczne. Atlas geologiczny GZW. Wyd. Geol.
- KAVANAUGH S. 1992 — GHC Bull., Klamath Falls, 14: 13–14.
- LEMALE J. 1995 — Techn. Posz., 172: 5–11.
- LIENAUP.J. 1995 — Proc. World Geotherm. Congress. Florencja. 3: 2177–2180.
- LIENAUP.J., BOYD T.L. & ROGERS R.L. 1995 — Ground-source heat pump studies and utility programs; GHC, Oregon Institute of Technology. Klamath Falls. 1–57.
- MULLER H. & DENNIN M. 1995 — Mat. konf. Energia odnawialna w ochronie środowiska, PAN i PSZczec.: 141–147.
- NEY R. 1992 — Nauka Pol., 4: 37–49.
- NEY R. & SOKOŁOWSKI J. 1987 — Ibidem, 6: 67–92.
- PLEWA M. & PLEWA S. 1990 — Mat. Konf. Możliwości wykorzystania wód geotermalnych w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem synklinorium Mogileńsko-Łódzkiego; Ślesin k. Konina. Wyd. AGH, Kraków.
- PLEWA S. 1994 — Rozkład parametrów geotermalnych na obszarze Polski. Wyd. CPPGSMiE PAN. Kraków: 1–138.
- PRATSCHL W. 1992 — GHC. Bull., Klamath Falls., 14: 1–6.
- RAFFERTY K. 1995 — Ibidem, 16: 7–10.
- RAFFERTY K. 1995 — Ibidem, 16: 11–14.
- RYBACH L., HOPKIRK R.J. 1995 — Proc. World Geotherm. Congr., Florencja, 3: 2133–2138.
- RYBACH L. WILHELM J., 1995 — Ibidem, 3: 2199–2201.
- SANNER B. 1995 — Ibidem, 3: 2167–2172.
- SCHUSTER J.E. & BLOOMQUIST R.G. 1994 — GHC Bull., Klamath Falls, 16: 16–18.
- SHULMAN G., & WHITELAW W. 1995 — Proc. World Geotherm. Congr., Florencja, 4: 2581–2583.
- SOKOŁOWSKA J. 1995 — Techn. Posz., 172: 18.
- SOKOŁOWSKI J. 1988 — Ibidem, 133–134: 31–58.
- SOKOŁOWSKI J., SOKOŁOWSKA J., PLEWA S., NAGY S., KROKOSZYŃSKA M. & KRZYSIEK U. 1995 — Asocjacja Geotermalna i CPPGSM, Kraków: 1–124.
- THURSTON R.E., CULVER G. & LUND J.W. 1995 — GHC Bull., Klamath Falls., 16: 23–28.
- US Dept. of Energy, 1995 — Broszura informacyjna.
- WRIGHT P.M. & COLVIN S.L. (eds.) 1993 — Geotherm. Resour. Council Transactions, 17: 303–314.